

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РЫНКИ: НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ

© 2013 Л. Пустильник^{1,2*}, Г. Иом Дин^{1,3**}

¹Тель-Авивский Университет, Тель-Авив, 69978 Израиль

²Институт Исследования Голан, Кацрин, 12900, Израиль

³Открытый Университет, Раанана, 43537 Израиль

Поступила в редакцию 30 июля 2012 года; принята в печать 19 декабря 2012 года

В настоящей статье приводятся результаты исследований возможной связи между космической погодой и земными рынками сельскохозяйственной продукции. Показано, что для реализации возможного воздействия космической погоды на земные урожаи и цены необходимо одновременное выполнение трех условий: 1) чувствительность локальной погоды (облачности, атмосферной циркуляции) к состоянию космической погоды; 2) чувствительность районированных сельскохозяйственных культур к погодным аномалиям (принадлежность к зоне рискованного земледелия); 3) относительная изолированность рынка, затрудняющая демпфирование скачков цен внешними поставками продовольствия. Описываются четыре возможных сценария реакции сельскохозяйственных рынков на модуляции локальной земной погоды солнечной активностью. Описываются источники данных и методы анализа, примененные для обнаружения этой связи. Проанализировано поведение 22 европейских рынков в средневековый период, в частности, во время минимума Маундера (1650–1715 гг.). Показано достоверное проявление влияния космической погоды на цены, обнаруживаемое в статистике интервалов между скачками цен и фазовой асимметрии цен. Показано, что эффекты фазовой асимметрии цен сохраняются даже в Новое время в США при производстве пшеницы твердых сортов дурум. В рамках предложенного подхода анализируется статистика случаев уменьшения численности населения в Исландии XVIII–XIX вв., вызванных голодом из-за резкого сокращения поголовья скота, обусловленного, в свою очередь, дефицитом кормов из-за локальных погодных аномалий. Показана высокая статистическая достоверность факта временной привязки этих событий к моментам экстремумов солнечной активности. Обсуждаются возможные последствия наблюдаемого глобального изменения климата для формирования новых зон рискованного земледелия, чувствительных к космической погоде.

Ключевые слова: *Солнце: солнечно-земные связи*

1. ИСТОРИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Проблема возможного влияния солнечной активности на земное сельское хозяйство имеет уже почти 300-летнюю историю. Одно из первых упоминаний о ней появляется в описании Британского Королевского общества (аналога Академии Наук) знаменитым профессором богословия и, по совместительству, отцом европейской сатиры Джонатаном Свифтом в книге, посвященной третьему путешествию Гулливера на остров Лапутия [1]. В этой едкой сатире Свифт, описывая основные занятия

лапутян,¹ в качестве двух их главных фобий упомянул следующие:

1) под воздействием небесного тела (кометы), Земля, попавшая в ее раскаленный хвост, претерпит период “глобального потепления,” угрожающего гибелью всему живому;

2) Солнце покроется своими собственными испражнениями (пятнами) и перестанет посылать свет и тепло миру (с последующим “глобальным похолоданием”).

¹Как утверждал Свифт, основное время лапутяне посвящали попыткам исследования материи с помощью сверх-сильных магнитов и исследованиям небес с помощью гигантских телескопов. Нельзя не отметить, что эти занятия до сих пор (вот уже 300 лет) занимают лидирующее место в научных программах, реализуемых человечеством.

*E-mail: levpust@post.tau.ac.il

**E-mail: gregory@openu.ac.il

Учитывая, что источники беспокойства лапунтян, описанные Свифтом, отражали фобии и слухи, господствовавшие в современном ему “просвещенном обществе,” можно только удивляться тому, насколько устойчивыми они оказались, сохранившись до сего дня в модных научно-фантастических романах, фильмах-катастрофах и газетных заголовках.

Следующее утверждение о возможном влиянии космической погоды и солнечной активности на сельское хозяйство было сделано через 75 лет отцом европейской наблюдательной астрономии знаменитым Вильямом Гершелем. Сопоставив данные по ценам на зерно из фундаментальной работы Адама Смита [2] “Исследование о природе и причинах богатства народов”² с данными о числе солнечных пятен за тот же период, Гершель [3] сделал далеко идущий вывод: “Пять продолжительных периодов немногочисленности солнечных пятен совпадают с периодами подорожания пшеницы.” Данная работа была опубликована в трудах Королевского Общества и встречена в штыки остальными членами академии, расставшимися к этому времени с ранними иллюзиями периода Свифта. В крайне жестком отзыве одного из лидеров Королевского Общества профессору Гершелю был присвоен издевательский титул “Короля Абсурда.” Учитывая гигантский авторитет Гершеля, открывшего к этому времени новую планету Уран (первоначально “планета короля Георга”), и его статус Королевского астронома, обструкция его работы демонстрирует абсолютное неприятие научным сообществом того времени самой идеи о возможности влияния солнечной активности на Землю.

Следующей, но не последней³ жертвой интереса к этой проблеме стал знаменитый основатель математической школы в политической экономике, один из основоположников теории предельной полезности, профессор Уильям Джевонс. Джевонс [5–7] одним из первых обратил внимание на цикличность развития экономики и, в частности, на периодическую повторяемость экономических кризисов со средним периодом между ними около 10.2 года. Обнаружив исключительную близость обнаруженного им периода между экономическими кризисами с периодом открытого незадолго до этого 11 летнего цикла солнечных пятен, Джевонс предположил, что солнечная активность каким-то образом модулирует экономическую. В качестве

возможной причинно-следственной цепочки, объясняющей это совпадение, Джевонс предположил, что в годы “неблагоприятной” солнечной активности имеют место погодные аномалии, приводящие к неурожаям и росту цен на продукты питания, уменьшению спроса на продукты промышленного производства, и, в конечном итоге, порождающие биржевые кризисы. В качестве “слабого места,” потенциально чувствительного к подобным аномалиям, Джевонс рассматривал Индию и Юго-Восточную Азию, а в качестве погодных аномалий — ослабление или прекращение летних муссонов, ответственных за орошение этой территории. Экстраполируя совпадение моментов пяти предыдущих биржевых кризисов с периодами минимумов солнечной активности и подъемов активности сразу после минимумов, Джевонс имел смелость предсказать будущий экономический кризис в годы, близкие к следующему ожидаемому минимуму солнечной активности в 1879 г., чем вызвал естественную бурную реакцию на бирже и в прессе. Поскольку ни в 1879 г., ни позже обещанный кризис не произошел,⁴ теория Джевонса была полностью дискредитирована, а в экономике появилось понятие “sun-spot equilibria.”⁵

⁴На самом деле предсказание Джевонса частично сбылось. В указанный им период минимальной солнечной активности 1876–1878 гг. на три года прекратился муссонный перенос влажного воздуха Индийского океана в южную Индию (“жемчужину” тогдашней Британской империи). Это привело к сильнейшей многолетней засухе и вызванной ею гуманитарной катастрофе, известной как “Великий Голод в Индии” (Great Famine): от голода умерло от 6 до 10 млн. человек, и еще 60 млн. человек были вынуждены покинуть район бедствия и бежать от голодной смерти. Во многом масштаб катастрофы определялся решением властей Британии отказаться от массированных закупок зерна в непострадавших районах империи для продовольственной помощи. Решение это было принято в рамках доминировавшей тогда парадигмы “невмешательства правительства в естественные экономические процессы свободного рынка” и во избежание предсказанного Джевонсом скачка цен на продовольствие, способного инициировать предсказанный Джевонсом биржевой кризис. В результате Джевонс впал в глубокую депрессию, уволился из Лондонского Колледжа, и через короткое время был найден утонувшим при неясных обстоятельствах.

⁵Данный термин отражает обостренную чувствительность биржи к любой “достоверной” научной, экономической или политической информации об угрозах ее стабильности. Такая информация, формирующая пессимистические ожидания у многих участников биржевых торгов, способна спровоцировать реальную панику, несмотря на полную недостоверность первоначального прогноза. Именно пример предсказания Джевонса лежит в основе понятия “sunspot equilibria” в современной экономике как состояния, учитывающего ожидания игроков, сформированные априорной информацией. Эта информация, будучи зачастую нерелевантной по существу, может определять поведение игроков и реально влиять на предсказанную ею действительность [8].

²Знакомство с которой А. С. Пушкин отнес к числу достоинств своего “добраго приятеля,” небы известного Евгения Онегина.

³В этом ряду необходимо в первую очередь вспомнить имя профессора Чижевского [4], использовавшего одним из первых популярный ныне термин “космическая погода” и много сделавшего для популяризации в России еретической тогда темы солнечно-земных связей.

Дальнейшее обнаружение исключительного постоянства (в пределах 0.1%) уровня солнечной радиации, доходящей до Земли (получившей в связи с этим название “солнечной постоянной”), на длительное время лишило физических аргументов сторонников влияния солнечной активности на земные процессы.

Этот “пессимистический” период продолжался до обнаружения новых каналов воздействия солнечной активности на Землю, объединяемых ныне термином “космическая погода.”

2. КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ЗЕМНЫЕ ПРОЦЕССЫ

2.1. Введение в космическую погоду

Под термином “космическая погода” в настоящее время понимается совокупность факторов внеземного происхождения, способных оказать существенное влияние на Землю: в частности, солнечный ветер и космические лучи высоких энергий, солнечные вспышки и выброс корональных масс.⁶ В основе этой группы процессов лежит феномен солнечной активности, обусловленный динамо-процессами циклической генерации магнитных полей на Солнце. В результате на поверхности Солнца возникают солнечные пятна и корональные дыры, формируется высокотемпературная солнечная корона, ее внешняя часть расширяется, превращаясь в солнечный ветер. Солнечный ветер, в свою очередь, обдувая магнитосферу Земли, формирует ее границы, а магнитные поля солнечного ветра, вытягиваемые вместе с ветром к границам солнечной системы и спирализуемые вращением Солнца, резко затрудняют проникновение галактических космических лучей во внутренние области гелиосферы и, в частности, к Земле.

Важнейшим свойством космической погоды является ее изменчивость. Наиболее важной для нас является квазициклическая переменность на временах 8–15 лет (так называемый 11-летний цикл солнечных пятен). В ходе этого цикла число пятен, выражаемое в числе Вольфа, и обусловленная ими активность то падает до нуля (минимум солнечной активности), то вырастает до сотен (максимум солнечной активности). Одновременно с числом солнечных пятен меняются и связанные с ними другие проявления космической погоды (солнечный ветер, космические лучи, магнитная

активность земной магнитосферы). На более короткой временной шкале космическая погода проявляется в виде многочасовых магнитных бурь, порождаемых порывами солнечного ветра, выбросами корональной материи и ударными волнами в солнечном ветре. В основе этого типа возмущений лежат солнечные вспышки — исключительно быстрое освобождение магнитной энергии в корональных структурах, сопровождаемое нагревом корональной плазмы до гигантских температур и ускорением небольшой группы частиц до очень высоких энергий (т.н. “солнечные” космические лучи). Кроме изменчивости космической погоды на временах часы—дни (солнечные вспышки) и десятилетия (цикл солнечных пятен), наблюдаются и долговременные изменения на масштабах сотен и тысяч лет, сопровождающиеся “выключением” солнечной активности и длительным исчезновением солнечных пятен, типа минимумов Маундера, Шперера.

Подчеркнем, что часть солнечной активности (например, ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоизлучение) меняется синхронно с числом солнечных пятен, отражающим интенсивность азимутальных полей в конвективной зоне Солнца. В то же время другие проявления солнечной активности (корональные дыры, вспышки), связанные как с полоидальными полями, так и с характером конвекции, меняются зачастую в противофазе с числом пятен, или с существенным сдвигом по фазе. В результате различные компоненты космической погоды (солнечный ветер, магнитосферная активность, динамика потоков космических лучей) демонстрируют сложную картину фазовых изменений в ходе цикла [9]. Еще больше усложняет эту картину долговременная (десятки и даже сотни лет) переменность относительного вклада различных компонент солнечной активности, в результате которой фазовый рисунок различных проявлений космической погоды может радикально меняться.⁷

⁷Как пример, приведем связь магнитосферной активности Земли с солнечной активностью: если в течение первого периода наблюдений (1868–1967 гг.) корреляция между индексом геомагнитной активности aa и числом солнечных пятен ssn была высоко достоверной (95% доверительный интервал коэффициента корреляции $\Delta R_{95\%} = 0.4-0.72$), то для последующих тридцати лет (1968–1998 гг.) изменение рисунка вариаций магнитной активности привело к исчезновению значимой корреляции (95% доверительный интервал $\Delta R_{95\%}$ от -0.06 до 0.58). Использовались годовые данные по числу солнечных пятен из <http://sidc.oma.be/DATA/yearssn.dat> и годовые значения (total) aa -индекса из ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/AASTAR/aastar.lst.v12.

⁶В категории космической погоды входят также и астероидно-кометные атаки (подобные Тунгусской и Юкатанской), и взрывы ближних сверхновых, но для нас существенны именно факторы влияния, обусловленные солнечной активностью.

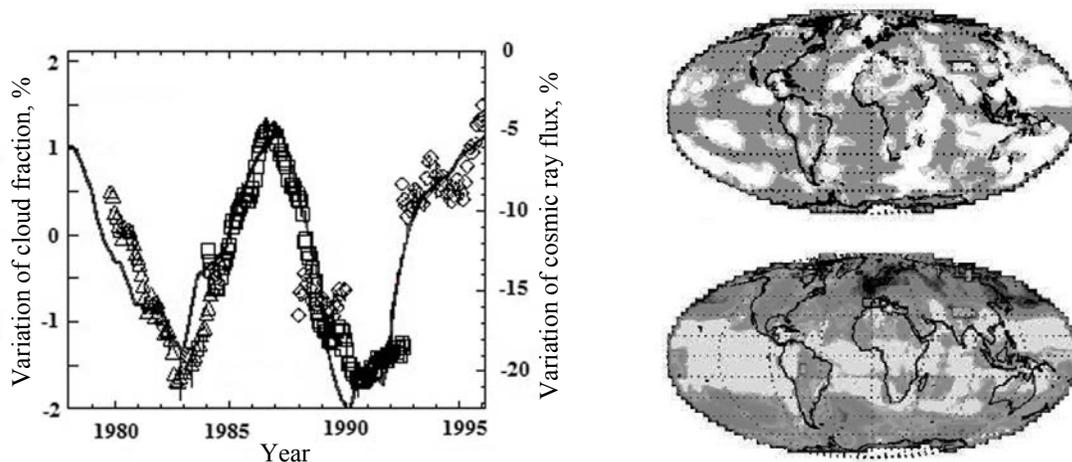


Рис. 1. Слева: обнаруженная Свенсмарком и Фрис-Кристинсенем корреляция между потоком космических лучей и облачностью над Северной Атлантикой в 1976–95 гг. [10] (данные за 1993–95 гг. являются объектом дискуссии из-за неоднозначности учета перекалибровок прибора, произведенных в это время). Левая вертикальная ось — изменение площади облачности в процентах, правая вертикальная ось — вариация потока космических лучей в процентах, горизонтальная ось — время в годах. Справа: крайне неоднородное “пятнистое” распределение наблюдаемой чувствительности облачности (коэффициент корреляции) к вариации потока космических лучей [11]; сверху — распределение корреляции с космическими лучами для локальной площади облаков, внизу — то же для локальной температуры облаков.

2.2. Влияние космической погоды на земную

Если о влиянии космической погоды на земную магнитосферу и ионосферу известно уже около 100 лет, то возможность воздействия космической погоды на земную путем изменения условий в земной атмосфере была обнаружена только в последнее время и до сего дня является темой ожесточенных научных дискуссий.⁸ В качестве демонстрации проявления такого воздействия можно привести следующие наблюдения.

1) Открытая датскими учеными Свенсмарком и Фрис-Кристинсенем [10] высокая корреляция между потоком космических лучей, пронизывающих атмосферу Земли, и уровнем облачности в некоторых регионах, в частности, над северной Атлантикой (Рис. 1, левая часть). Подчеркнем, что обнаруженная ими чувствительность земной облачности к космическим лучам не является универсальной, имеющей место всегда и всюду в земной атмосфере, но, напротив, наблюдается только в определенном диапазоне высот, в определенных географических зонах и в определенные, хотя и длительные, периоды времени [11] (Рис. 1, правая часть). По-видимому, основной причиной такой избирательности служит необходимость выполнения в атмосфере в данном месте и в

данный период какого-то обязательного критического условия (“порогового состояния”), при котором ионизация воздуха космическими лучами может привести к значимым дополнительным эффектам конденсации водяного пара и способствовать наблюдаемому усилению облачности.⁹ Данная картина согласуется с последними результатами эксперимента CLOUD на ускорителе в ЦЕРНе, облучающем высокоэнергетическими протонами конденсационную камеру, имитирующую атмосферу. Согласно первым результатам эксперимента, индуцированное формирование аэрозолей и водяного пара на образующихся ионах и радикалах, действительно, многократно усиливается [12].

2) Зависимость глобальной циркуляции в земной атмосфере, определяемой параметром NAO

⁸Особо остро протекает дискуссия о возможном вкладе факторов космической погоды в т.н. “глобальное потепление” — резкую перестройку климата Земли, наблюдаемую в последние десятилетия.

⁹Возможным примером такого порогового типа реакции на внешние воздействия является чувствительность процесса конденсации водяного пара к ионизации воздуха космическими лучами, зависящая чрезвычайно резко от плотности водяных паров: в областях с низкой исходной плотностью молекул воды (над зоной пустыни) никакие добавки ионов в состав воздуха не приведут к формированию облаков (просто из-за недостатка водяного пара). И, наоборот, в области с исходной избыточно высокой плотностью водяных паров конденсация и формирование облаков происходят и без дополнительного вклада ионов в этот процесс. И только при выполнении пограничных условий, близких к порогу конденсации, мы можем ожидать значимого влияния дополнительной ионизации воздуха и аэрозолей на конденсацию водяного пара и образование облачности в данном регионе и в данный период времени.

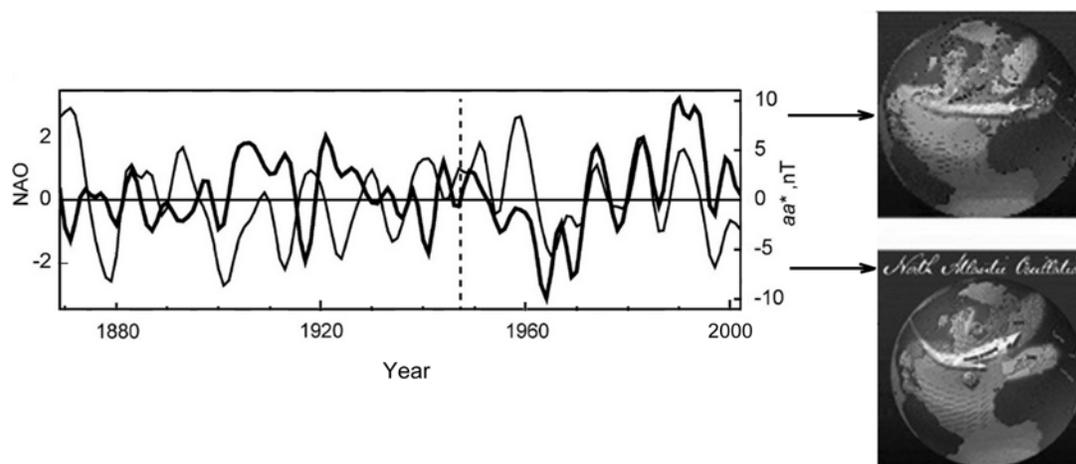


Рис. 2. Слева: изменения aa -индекса (тонкая линия) и параметра NAO (жирная линия) за период 1868–2002 гг. Вертикальная штриховая линия (1947 г.) разделяет период отсутствия корреляции и период ее появления. Справа: доминирующая атмосферная циркуляция при NAO < 0 (вверху) и при NAO > 0 (внизу) (иллюстрации <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>).

(North Atlantic Oscillation), представляющим собой разницу субэкваториального (Азоры) и приполярного (Исландия) атмосферного давления,¹⁰ от уровня магнитосферной активности, контролируемого, в свою очередь, космической погодой. Как показали исследователи из Санкт-Петербургского института Арктики и Антарктики [13], в последние 60 лет наблюдается высоко достоверная корреляция между уровнем магнитосферной активности (aa -индекс), особенно в приполярных областях (Pc -индекс), и переменностью NAO-индекса, определяющего глобальную циркуляцию влажного воздуха Атлантики (Рис. 2).

Подчеркнем, что, как и в случае корреляции облачности над Северной Атлантикой с космическим лучами, обнаруженная чувствительность глобальной атмосферной циркуляции к проявлениям космической погоды в виде магнитосферной активности не является универсальной, но реализуется только в определенном регионе и в определенный период времени (после 1946 г.). Эта избирательность, по-видимому, отражает все ту же обязательность особого “порогового” состояния локальной атмосферы, необходимого для проявления чувствительности атмосферных процессов к

внешним воздействиям, в частности, формируемым космической погодой. Убедительные доказательства влияния солнечного ветра и геомагнитной активности на NAO-индекс глобальной циркуляции были представлены также в работе Voberg and Lundstedt [14]. Дополнительные свидетельства влияния космической погоды на климат приведены в работах [15–20]. Возможность проявления нелинейных эффектов при воздействии солнечной активности на климатические изменения рассмотрена в работе [21], а локальность и нелинейность реакции высотных струйных течений в области тропопазузы на спектральные изменения солнечного излучения, вызванные солнечной активностью, продемонстрированы в работе [22].

Дополнительный вклад в неуниверсальный характер связи космической и земной погоды может вносить изменчивость фазового портрета различных компонентов как земной, так и космической погоды, чувствительных к разным проявлениям солнечной активности и/или состояниям глобальной циркуляции атмосферы. Как иллюстрацию такой нестабильности приведем свидетельство о периодическом выключении связи между NAO-индексом и погодными условиями в Южной Швеции, хотя большую часть времени они коррелируют с изменениями индекса NAO [23].

Особо подчеркнем подход к описанию земного климата как к системе, содержащей не одно состояние динамического равновесия (аттрактор фазовых траекторий в пространстве параметров, описывающих систему), но несколько подобных аттракторов [24]. Эти состояния разделены пограничными зонами метастабильного равновесия, из которых система может перейти в область другого

¹⁰При положительном значении NAO основной перенос влажного воздуха Атлантики цепочкой циклонов приходится на центр–север Европы и тянется через Россию до Якутии (с соответствующим вкладом в облачность и осадки в этом районе), в то время как в средиземноморском регионе доминирует сухая и жаркая погода. И наоборот, при отрицательном NAO полоса циклонов сдвигается на юг в Средиземноморье с соответствующим увеличением там облачности и осадков, в то время как севернее устанавливается относительно сухая погода.

аттрактора (динамического равновесия) под воздействием относительно малых внешних возмущений (солнечной активности, вулканических выбросов в атмосферу, техногенного воздействия). Для такого перехода необходимо попадание фазовой траектории в пограничную зону в момент воздействия внешнего фактора.

2.3. Влияние земной погоды на урожай

Факт зависимости урожайности от погодных условий является тривиальным и общеизвестным. Однако часто упускается из виду пороговый характер этой зависимости для многих культур. Например, кратковременные заморозки в период цветения либо проливные дожди в период уборки зерновых могут за несколько дней понизить урожайность почти до нуля и при этом не повлияют существенно ни на среднегодовые, ни на среднемесячные показатели погоды (температуры, влажности, осадков) в этой местности. Подчеркнем, что для разных культур критическими могут оказаться различные агротехнические и погодные условия. Так для многолетней культуры винограда крайне важно наличие достаточно высоких температур воздуха в период созревания, в то время как для однолетних зерновых культур критическую роль может играть влажность почвы.

Для минимизации потерь урожая из-за погодных аномалий используется практика многолетней селекции и районирования наиболее подходящих культур и оптимизации агротехнологий под доминирующий в данной местности тип погоды. Однако, именно это многолетнее районирование культур под “стандартную” погоду в условиях быстрого и глобального изменения климата может привести к сдвигу доминирующих сельскохозяйственных культур в состояние “рискованного земледелия,” крайне чувствительного даже к относительно небольшим и локальным погодным аномалиям.¹¹

2.4. Влияние дефицита урожая на рынок зерна

В условиях свободного рынка дефицит поставок товаров первой необходимости (а продукция сельского хозяйства, несомненно, входит в их число) автоматически приводит к росту цен, естественно уменьшая спрос до уровня равновесия между спросом и предложением. В ситуации, когда дефицит касается товаров, входящих в список жизненно

¹¹ Возможны сдвиги и в противоположном направлении, когда изменения климата приводят к увеличению урожайности и уменьшению его изменчивости для традиционных для данной зоны культур. К таким выводам приходят в работе [25], в которой моделируется влияние возможных изменений климата на урожайность озимой пшеницы в Англии и Уэльсе.

важных (источники энергии, вода, продукты питания), реакция рынка на короткий период может принять форму паники со скачком цен, сильно превышающим “уровень равновесия.”¹² Эта паническая реакция свободного рынка в полной мере реализуется в случае дефицита продуктов питания, обусловленного неурожаем из-за локальных погодных аномалий.

Понятно, что резкое повышение цен на продукты питания стимулирует их поставки из внешних источников, не пострадавших от непогоды, что естественно демпфирует скачки цен и восстанавливает рыночное равновесие. Однако этот механизм стабилизации не всегда может эффективно сработать: во-первых, в окончательную цену продукта входят транспортные расходы, иногда весьма значимые; во-вторых, в ряде ситуаций свобода перемещения товаров ограничена географически и экономико-политическими препятствиями — сравнительная изоляция рынка, высокие таможенные барьеры и заниженные квоты, защищающие местного производителя.¹³ Таким образом, для локальных рынков, лишенных доступа к внешним поставщикам или чувствительных к росту транспортных расходов,¹⁴ реакция на дефицит продуктов питания, в частности, зерна, может принимать характер паники с взрывным ростом цен.

2.5. Три необходимых условия для реализации связи “космическая погода — земные цены”

Резюмируя проведенный выше анализ, мы можем сформулировать три необходимых условия для возможной реализации причинно-следственных связей между аномалиями космической погоды и вызванными ими скачками цен на зерно.

- 1) Наличие высокой чувствительности погодных условий (локальной в пространстве и во времени) к факторам космической погоды (например, к космическим лучам, солнечному ультрафиолетовому излучению и/или к магнитосферной активности).

¹² “Происходит паническая покупка, и цена становится нерелевантной” [26].

¹³ Другим возможным выходом из состояния панического роста цен на жизненно важные продукты (еда, горючее) являются меры властей по искусственному ограничению свободного рынка введением карточной системы распределения дефицитных продуктов, лишаящей цену товара ее равновесной рыночной функции (страны-участницы Второй мировой войны во время и после военных действий, Советский Союз на протяжении большей части его существования).

¹⁴ Примером эффекта влияния транспортных расходов на рынок зерна является сближение уровня цен на зерно в Англии (покупатель) и США (поставщик) в конце XIX в. после массового введения в практику грузовых перевозок дешевых пароходных линий [27].

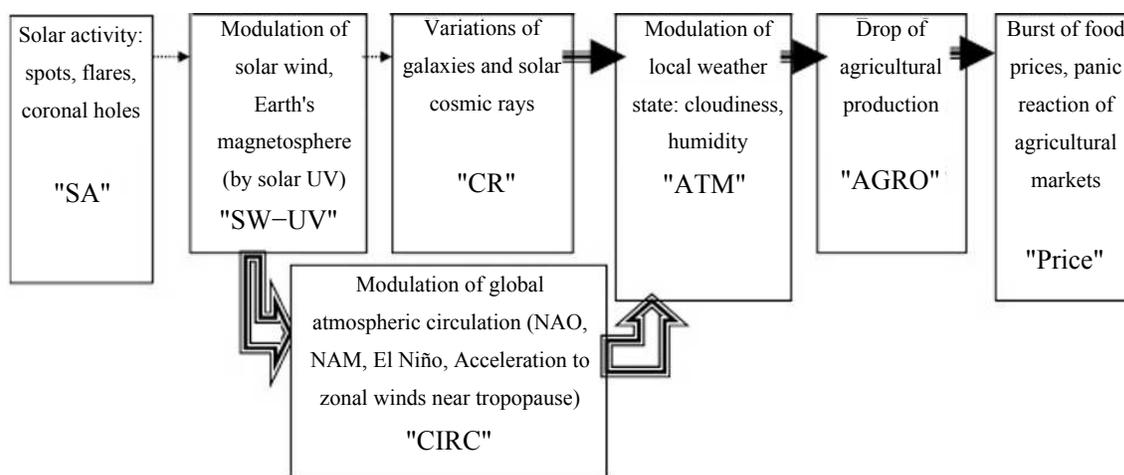


Рис. 3. Схема причинно-следственной связи между космической погодой и земными рынками зерна. Характер стрелок отражает возможность реакции порогового типа: тонкие стрелки соответствуют связям с прямой зависимостью и без пороговых эффектов, жирные стрелки соответствуют нелинейным связям с возможным проявлением пороговой зависимости.

2) Наличие высокой чувствительности урожая ведущих зерновых культур к погодным аномалиям (принадлежность к зоне рискованного земледелия) в данном регионе в исследуемый исторический период.

3) Наличие высокой чувствительности рынка зерна к дефициту предложения, обусловленной ограниченностью или отсутствием внешних источников поставок и приводящей к взрывному (паническому) росту цен.

2.6. Схема причинно-следственных связей между космической погодой и земными рынками зерна

На Рис. 3 изображена схема, отображающая возможную цепочку связей, приводящих к ценовой реакции на неблагоприятные состояния космической погоды в тех регионах, где выполнены описанные выше три необходимых условия.

Ключевой чертой данной схемы является наличие нелинейной (пороговой) чувствительности связей между некоторыми из элементов данной схемы (отмечены жирными стрелками). В результате, конечная связь “солнечная активность—уровень цен” в терминах теории катастроф [28] выглядит не как “жесткая” зависимость типа $Y = \sum k_i X_i + \text{Noise}$, но как зависимость “мягкого” типа $Y = \sum k_i (X_i, Y) \times X_i(t - \tau) + \text{Noise}$, учитывающая и обратную связь, и наличие внешних факторов посторонней природы, и возможную фазовую задержку. Здесь X означает вектор входных переменных (состояние солнечной активности и космической погоды, условия земной атмосферы, состояние рынка), Y — выходная реакция (цены, социальные характеристики), k_i — коэффициенты (функции) связей, τ — фазовая задержка.

2.7. Четыре возможных сценария реакции цен на космическую погоду

В рамках предложенной схемы для различных климатических зон и разных видов сельскохозяйственного производства возможны четыре варианта реакции сельскохозяйственного производства на возможные модуляции локальной погоды солнечной активностью/космической погодой. В предлагаемом наборе сценариев мы используем в качестве модулирующего фактора космические лучи как возможный агент, инициирующий формирование дополнительной облачности, дефицита радиации, пониженной температуры и избытка осадков. Подчеркнем, что возможная связь космической погоды с земной через причинно-следственную цепочку “космические лучи—облачность” не исчерпывает списка всех возможных механизмов влияния космической погоды на земную. В данном разделе мы ограничиваемся только одной этой цепочкой связей в целях иллюстрации возможности разнообразных сценариев отклика, зависящих от локальных климатических и сельскохозяйственных условий.

Все эти варианты схематично отображены на Рис. 4 и включают в себя следующие возможности.

1) Модуляция погоды в зоне рискованного земледелия, чувствительной к возможным похолоданиям и избыточным осадкам (зона I на Рис. 4). Наиболее вероятные кандидаты — север континентальной Европы, Англия. Наиболее неблагоприятная фаза солнечной активности — минимум активности с минимальной интенсивностью солнечного ветра и максимальным потоком космических лучей, усиливающих образование облаков в

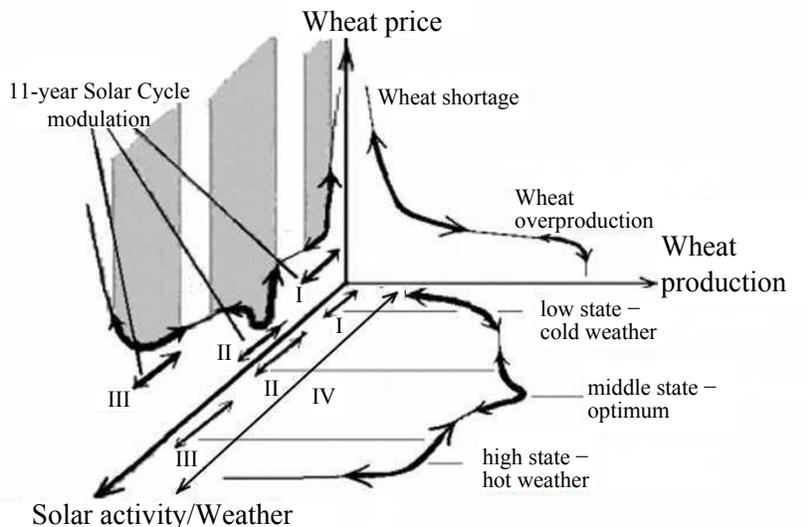


Рис. 4. Возможные реакции сельскохозяйственного производства и рынка на модуляцию локальной погоды солнечной активностью/космической погодой.

чувствительных к этому зонах (например, Северная Атлантика (Рис. 1, правая часть)).

2) Модуляция погоды в зоне рискованного земледелия, чувствительной к жаркой погоде, засухам и засухам (зона III на Рис. 4). Вероятные кандидаты — юг Европы и Средиземноморье (Италия, Испания, Северная Африка). Наиболее неблагоприятная фаза солнечной активности/космической погоды — максимум солнечной активности и солнечного ветра с дефицитом космических лучей и понижением их вклада в образование облаков над Атлантикой.

3) В особых случаях возможно возникновение зон рискованного земледелия, чувствительных одновременно как к холодам и избыточным осадкам, так и к дефициту осадков и засухе. Эта ситуация может иметь место для зон с особо неблагоприятным для сельского хозяйства климатом, допускающим успешное сельскохозяйственное производство в очень узком диапазоне климатических параметров (осадков, температур, влажности, солнечной радиации). Данная ситуация описывается зоной IV на Рис. 4. Вероятный кандидат — Исландия в особо неблагоприятные периоды климатических изменений.

4) Возможны ситуации, когда сельскохозяйственное производство не находится в состоянии рискованного земледелия и по определению слабо чувствительно к изменениям погодных условий в данном регионе. Эта ситуация описывается зоной II на Рис. 4 с нейтральной реакцией сельскохозяйственного производства на космическую погоду/фазы солнечной активности.

Данные четыре типа реакции исчерпывают все возможные сценарии связей между космической погодой и земным сельскохозяйственным производством для предполагаемого типа влияния “космические лучи—облачность.” Дальнейший анализ будет иметь своей задачей поиск реализаций данных сценариев в конкретных географических зонах и в конкретные исторические периоды.

Согласно проведенному выше описанию, мы можем ожидать систематических скачков цен в состояниях минимумов солнечной активности для холодных и влажных регионов (зона I на Рис. 4). Аналогичные скачки цен для сухих и жарких регионов (зона III) ожидаются для состояний максимумов солнечной активности. Для этих двух случаев характерный период между скачками цен определяется периодом солнечной активности (9–13 лет). Для регионов, чувствительных одновременно и к избыточным осадкам, и к дефициту осадков (зона IV) возможны скачки цен как в минимумах, так и в максимумах солнечной активности с характерными периодами в половину солнечного цикла (4–6 лет). К такому же периоду вариаций может привести искусственное смешивание в одну выборку данных по рынкам из зон с противоположными типами ценовой реакции, как, например, в работе Beveridge [29], использовавшего в качестве параметра индекс “среднеевропейской” цены и получившего значимый Фурье-отклик именно на временах 4–5 лет.

3. ДАННЫЕ И ВЫБОР РЕЛЕВАНТНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

3.1. Используемые данные

3.1.1. Данные по солнечной активности

Главным видом данных по солнечной активности (генератору космической погоды) являются числа солнечных пятен. Хотя их наблюдения начались в 1611 г. открытием Галилея, последовавший затем минимум Маундера прервал наблюдения пятен на регулярной основе. Только после восстановления солнечной активности в начале XVIII в. начались регулярные ежедневные наблюдения солнечных пятен несколькими группами исследователей. Это позволило создать каталог солнечной активности (числа пятен) с 1700 года до настоящего времени.¹⁵ Однако данные по предыдущему периоду также были восстановлены по тем годам, когда регистрировались хоть какие-то проявления пятен на поверхности Солнца.¹⁶

Другим способом, использованным нами для оценки солнечной активности в период минимума Маундера и предшествующие ему годы, был косвенный метод оценки уровня солнечной активности по содержанию изотопов Be^{10} во льдах Гренландии [31]. Этот метод, не давая надежной количественной оценки собственно числа пятен, позволяет относительно достоверно определить моменты максимумов и минимумов солнечной активности. Подчеркнем, что для наших целей данные по изотопам Be^{10} , отражающие непосредственно интенсивность космических лучей, проникающих в атмосферу, намного важнее, чем число солнечных пятен. Космические лучи непосредственно влияют на атмосферу, ее ионизацию и конденсацию водяного пара, в то время как причинно-следственная цепочка от солнечных пятен до атмосферных процессов включает много промежуточных элементов (солнечный ветер, состояние магнитосферы Земли и глобальной атмосферной циркуляции). Эти факторы способны замаскировать возможную связь атмосферных проявлений с собственно солнечными пятнами.

3.1.2. Источники данных по ценам на зерно (пшеницу)

Первые данные по ценам на зерно, использованные Вильямом Гершелем [3] для своего анализа, были опубликованы в вышеупомянутом труде Адама Смита “Исследование о природе и причинах богатства народов” [2]. Однако наиболее полная

и достоверная база данных по ценам на зерно в средневековой Англии была впервые создана в результате подвижнического труда выдающегося экономиста и статистика проф. Роджерса [32]. Его база данных

1) охватывает период с 1259 г. до середины XVIII в.;

2) использует данные по ценам на покупаемое зерно в монастырях и колледжах, являвшихся в тот период очагами грамотности и учета; это обстоятельство повышает достоверность источников проф. Роджерса.

В дополнение к данным по ценам на пшеницу, мы использовали для анализа данные по ценам на потребительскую корзину товаров за период 1264–1954 гг. [33].

Еще одним дополнительным источником данных, который мы использовали, был архив цен на пшеницу для 90 городов средневековой Европы. В частности, мы использовали наиболее полную часть данных за период 1590–1702 гг., покрывающий период маундеровского минимума и интервал наблюдений вариаций изотопа Be^{10} [31]. Эти данные по ценам были взяты из базы данных Международного института общественной истории [34].

Кроме этого, для поиска возможных проявлений влияния космической погоды на рынки пшеницы в Новое время, мы использовали данные Департамента Сельского Хозяйства США за период 1866–2002 гг. по ценам на пшеницу дурум твердых сортов, применяемую для производства хлеба и хлебопродуктов.

Мы использовали также сравнительный анализ производства и цен на зерно в средневековых Англии и Франции [35], анализ цен на зерно в средневековой Англии из вышеупомянутой работы Beveridge [21], анализ корреляции между погодой и урожаями в конце XIX–начале XX вв. [36], анализ производства зерна в США начала XX в. [37, 38].

Для анализа влияния неурожая кормов в Исландии XVIII–XIX вв. на падение поголовья скота и вызванный этим голод и снижение численности населения, мы использовали результаты работы [39].

3.2. Методы анализа

Главные трудности в поиске откликов цен на сельскохозяйственные продукты, используемых как индикатор возможной связи с аномальными состояниями космической погоды, вызваны следующими двумя обстоятельствами.

¹⁵<http://sidc.oma.be/DATA/yearssn.dat>.

¹⁶Результаты обсуждаются в работах [21, 30] и представлены на сайте NOAA/NGDC: ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/ANCIENT_DATA/earlyssn.dat.

1) Солнечный цикл активности, как главный генератор изменений в космической погоде, не является стабильным ни по частоте изменений числа солнечных пятен, ни по амплитуде цикла. Временной интервал между минимумами солнечной активности (период цикла) меняется в широком интервале периодов от 8 до 15 лет. Амплитуда же цикла, выраженная в т.н. числах Вольфа, меняется от сотен до десятков (падая иногда вообще до нуля на многие десятки лет). Солнечная активность включает в себя различные компоненты (пятна, корональные дыры, вспышки), формируемые различными элементами динамо-процесса или их сочетаниями (полоидальными и азимутальными полями внутри Солнца, конвекцией, дифференциальным вращением и меридиональной циркуляцией). В результате у разных компонентов активности фазовые изменения в течение периода цикла сильно отличаются. Например, вклад корональных дыр и вызванных ими рекуррентных потоков в солнечном ветре максимален в период минимума солнечных пятен и отсутствует в период максимума. Солнечные вспышки малой амплитуды очень хорошо коррелируют с числом пятен, в то время как для мощных солнечных вспышек с выбросами корональной плазмы и ускоренных высокоэнергетических протонов ситуация намного более сложная и динамичная — от цикла к циклу распределение протонных вспышек радикально меняется. В ряде циклов их частота максимальна не в максимуме пятенной активности, а на фазе роста или спада числа пятен [40]. Дополнительную сложность создает нестабильность относительного вклада различных компонентов солнечной активности в формирование космической погоды, например, изменение относительного вклада корональных дыр и солнечных пятен в возмущения земной магнитосферы, обусловленные спецификой динамо-процесса на Солнце [9, 41]. Воздействие факторов космической погоды на атмосферу также происходит на фоне сложной, и на сегодня не до конца понятой, картины глобальной циркуляции атмосферы с эффектами дальнего действия,¹⁷ фазовой нестабильности и возможных переходов типа странного аттрактора [42].

2) Влияние космической погоды на поведение цен на сельскохозяйственную продукцию (зерно),

¹⁷Как пример, приведем ситуации, когда погодный катаклизм типа Эль-Ниньо у западного побережья Южной и Центральной Америки через цепочку атмосферных и океанических переносов приводит к драматическому погодному отклику на противоположном конце земного шара в Северной Атлантике. Подчеркнем, что исследователи указывают на наличие возможной связи между солнечной активностью и эффектами Эль-Ниньо/Ла-Нинья в формировании климатических аномалий [42].

если оно и будет иметь место, должно происходить на фоне действующих одновременно с ним других факторов воздействия. Эти воздействия могут быть сравнимой амплитуды и иметь как случайный характер, так и, возможно, периодические составляющие на тех же временах. В качестве таких факторов упомянем климатические вариации, политические и военные события, приводящие к экономическим потрясениям, научно-технические революции.

Эта ситуация делает малоэффективным применение классических статистических методов, настроенных как на выделение именно гармонического сигнала (Фурье-анализ, периодограммный анализ) с заданным (например, 11-летним) периодом, так и на поиск прямой линейной связи (корреляционный и регрессионный анализ). Она требует привлечения других методов и статистик, более робастных по отношению к изменчивости периода и амплитуды солнечной активности, нестабильности атмосферной циркуляции и прочих внешних факторов.

В рамках предлагаемого подхода подобными статистиками и методами их анализа могут являться следующие:

- 1) сравнение статистики интервалов между скачками цен на зерно с аналогичной статистикой интервалов между экстремальными состояниями солнечной активности (например, ее минимумами);
- 2) возможная систематическая асимметрия цен на зерно при “благоприятных” и “неблагоприятных” состояниях космической погоды/солнечной активности;
- 3) регрессионный анализ с использованием фиктивных (dummy) переменных типа 0/1, идентифицирующих состояние системы в бинарной форме.

Для анализа конкретных ситуаций в конкретных регионах мы должны учитывать возможность уже упомянутых эффектов “дальнего действия.” Данный термин описывает тот факт, что регионы, удаленные от области эффективного влияния космической погоды на земную, могут, тем не менее, оказаться чувствительными к этим модуляциям в результате глобальной атмосферной циркуляции и циклонического переноса формируемой облачности на тысячи километров (например, от северной Атлантики до восточной Сибири).

Другой важный эффект, который также должен учитываться при анализе, — это возможные фазовые задержки ценовой реакции на неблагоприятные воздействия космической погоды. Причиной таких задержек могут быть наличие запасов зерна от предыдущих урожаев, несовпадение календарных и сельскохозяйственных лет в статистической

Сравнение статистических параметров (среднее, медиана, дисперсия) для двух выборок интервалов между скачками цен (для цен на пшеницу и для стоимости потребительской корзины) и для выборки интервалов между минимальными состояниями солнечной активности. Совпадение результатов, полученных по ценам на пшеницу и по ценам на потребительскую корзину, отражает тривиальный для данного исторического периода факт, что основу расходов на потребительскую корзину того времени составляли расходы на питание, в которых хлеб и хлебопродукты составляли очень существенную долю

| Используемые выборки | Медиана | Средняя величина | Стандартное отклонение |
|---|---------|------------------|------------------------|
| Min-Min интервалы для солнечных пятен | 10.7 | 11.02 | 1.53 |
| Интервалы между скачками цен на зерно | 11.00 | 11.14 | 1.44 |
| Интервалы между скачками цен на потребительскую корзину | 11.00 | 10.5 | 1.28 |

отчетности, инерция сельскохозяйственных рынков. Чувствительность к погодным условиям должна проявляться сильнее для ситуаций с производством зерна, сосредоточенным в компактном регионе (размером в сотни километров) с одним и тем же типом погодных условий, нежели для сельскохозяйственного производства, распределенного на тысячи километров с различными климатическими условиями в разных областях и, соответственно, с разными (вплоть до противоположных) типами чувствительности к внешним факторам.

Именно эти параметры и учитывались нами при исследовании данных по нескольким регионам, взятым в различные исторические периоды.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

4.1. Чувствительность рынков пшеницы в средневековой Англии к космической погоде

Средневековая Англия представляет собой идеальный полигон для поиска проявления эффектов космической погоды в ценах на зерно, поскольку именно этот регион и именно в этот исторический период удовлетворял всем трем вышеперечисленным условиям, необходимым для реализации такой связи:

- 1) зависимость погодных условий от факторов космической погоды в зоне облакообразования над северной Атлантикой, чувствительной к вариациям космических лучей в ходе изменения солнечной активности;
- 2) принадлежность к зоне рискованного земледелия (в частности для пшеницы), крайне чувствительного к неблагоприятным погодным аномалиям в период вегетации;
- 3) сравнительная изолированность от европейских рынков, усиливающая ценовую реакцию местного рынка на дефицит зерна.

Еще одним преимуществом исследования именно этого региона является наличие вышеупомянутого высоко достоверного архива данных по ценам на зерно с 1259 г. по восемнадцатый век, созданного проф. Роджерсом [32]. Исходная кривая изменений среднегодовых цен на зерно приводится в верхней части Рис. 5.

Для поиска проявлений воздействия космической погоды мы использовали описанные выше методики сравнения статистик интервалов и поиск проявления ценовой асимметрии.

В первую очередь мы сравнили статистики интервалов между моментами скачков цен на пшеницу и статистики интервалов между моментами минимумов солнечной активности — как для распределений этих интервалов по длительностям (Рис. 5, нижняя часть), так и для статистических характеристик этих распределений (сравнивались средние интервалы этих двух выборок, их медианы и дисперсии) [43, 44].

Как видно из таблицы статистических параметров распределения интервалов, равно как и из их гистограмм (Рис. 5, внизу слева), распределения интервалов для скачков цен на зерно и на потребительскую корзину с высоким уровнем достоверности (99%) совпадают с распределением интервалов между минимумами солнечной активности.

Другим свидетельством влияния космической погоды на цены на пшеницу в средневековой Англии является высоко значимая асимметрия цен в минимальном и максимальном состоянии солнечной активности в период минимума Маундера, приведенная в нижней правой части Рис. 5. Как можно видеть из приведенного графика, для всех девяти циклов солнечной активности в этот период характерно систематическое превышение цен на пшеницу в годы минимума солнечной активности по сравнению с ценами в годы ближайшего макси-

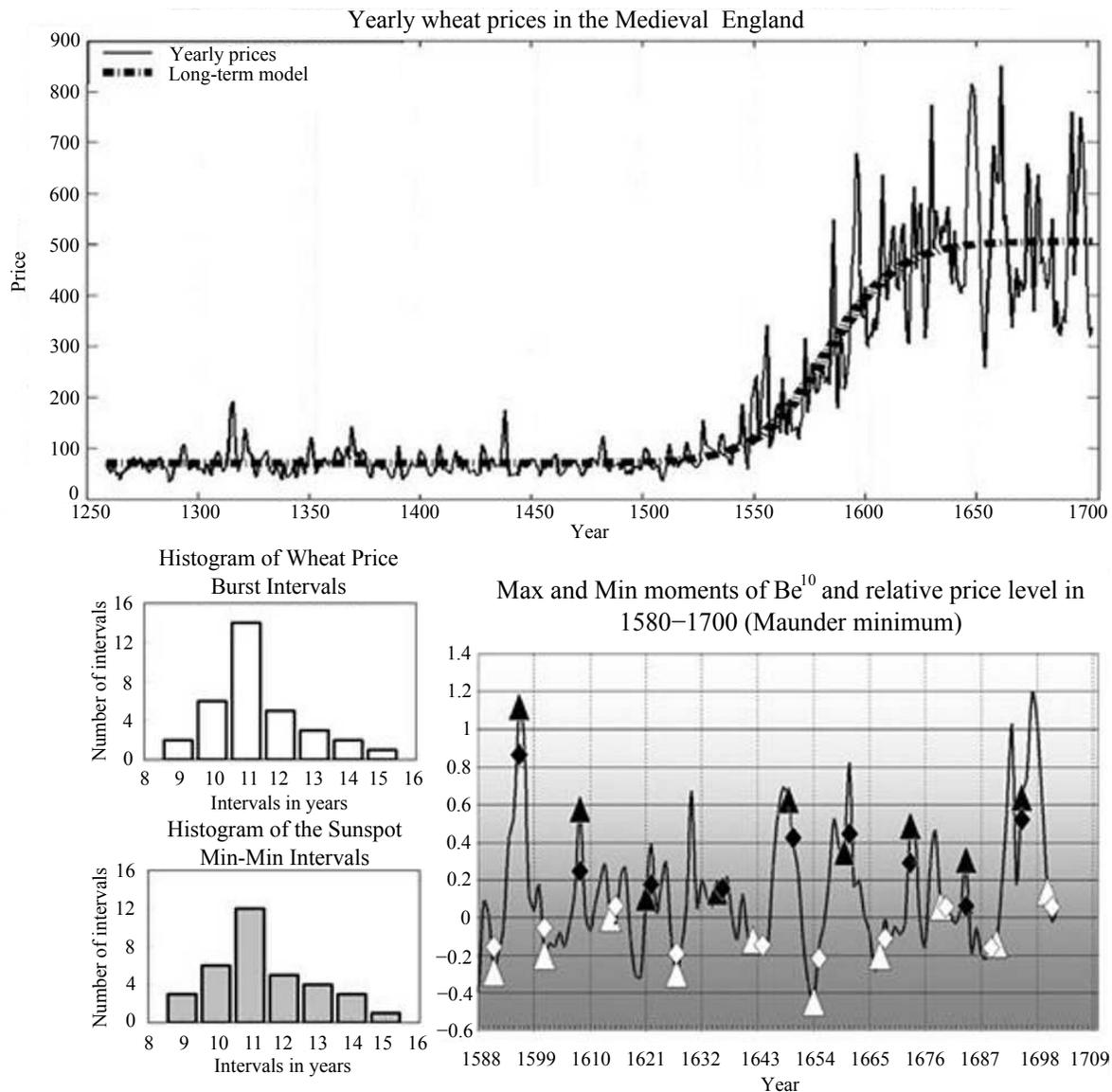


Рис. 5. Вверху: цены на пшеницу в средневековой Англии, сглаженные логистической функцией. Внизу слева: сравнение гистограмм интервалов между минимальными состояниями солнечной активности и интервалов между скачками цен на пшеницу. Диапазон интервалов по горизонтальной оси: 8–16 лет с шагом один год; максимум для обеих гистограмм приходится на интервал 11 лет. Внизу справа: асимметрия цен в моменты минимумов/максимумов солнечной активности, определенных по уровню Be^{10} в период минимума Маундера: по оси ординат — разница между годичными ценами и усредненными логистической кривой, нормализованной на средние значения; белые треугольники — цены в год максимума; белые ромбы — средние цены за три года вокруг года максимума; черные треугольники и ромбы — аналогично для годов минимума солнечной активности.

мума¹⁸ (в среднем в два раза). Уровень значимости и в этом случае превышает 99%.

Приведенные результаты доказывают реальность реализации описанной выше причинно-следственной цепочки между космической погодой и земными рынками зерна для конкретного случая средневековой Англии. Наблюдаемый тип реакции рынка соответствует варианту I (зона рискованного земледелия, чувствительная к возможным похолоданиям и избыточным осадкам), описанному в Разделе 2 данной статьи, что находится в хорошем согласии с ожидаемым типом реакции для этой климатической зоны.

4.2. Чувствительность рынков пшеницы в средневековой Европе к космической погоде

На следующем этапе анализа мы попытались ответить на вопрос: является ли обнаруженная чувствительность зерновых рынков средневековой Англии неким универсальным свойством, общим для всего земного шара (подобно зависимости тех же цен от сезонных изменений “зима–лето”), или же данное свойство рынков реализуется только в изолированных регионах и в избранные исторические периоды, когда в этих зонах в большей или меньшей степени выполняются все три условия, необходимые для реализации причинно-следственной связи “космическая погода–земные цены” (Раздел 2.5 данной статьи).

Для поиска ответа на этот вопрос мы провели регрессионный анализ данных по 22 европейским рынкам зерна, имевшим относительно полные данные среди всех рынков, представленных в базе данных [34].

Для анализа мы использовали метод регрессионного анализа с “фиктивными” переменными (“dummy” variables), введенный в практику D. V. Suits [45].¹⁹ В нашей работе мы использовали этот метод для установления связи тех или иных состояний зернового рынка с состояниями минимума или максимума солнечной активности. Мы проверяли гипотезу о наличии такой зависимости между ценами и солнечной активностью и оценивали статистическую значимость этой связи для выборок по рынкам из различных европейских регионов. Для этой цели мы ввели “фиктивную” переменную d_{\min} ,

которой присваивали значение 1 в годы минимума солнечной активности и значение 0 во все другие годы. Аналогично мы использовали “фиктивную” переменную d_{\max} для годов максимума солнечной активности. В определенном смысле этот метод есть развитие метода прямого поиска ценовой асимметрии для минимальных и максимальных фаз солнечной активности, использованного выше для рынка пшеницы в средневековой Англии (Рис. 5, нижняя правая часть). Однако метод “фиктивных” переменных является более точным и позволяет дать количественную оценку уровня значимости утверждения о наличии такой фазовой асимметрии.

Для нашего анализа мы использовали исторический период 1590–1702 гг. с наложившимся на него маундеровским минимумом (периодом резкого падения солнечной активности). Выбор именно этого временного интервала для нашего анализа определялся двумя обстоятельствами:

- 1) в избранный период климат значительной части Европы переживал “малый ледниковый период” с переходом значительных зон земледелия в состояние “рискованного земледелия” и, соответственно, повышением роли погодных аномалий в производстве зерна;
- 2) по этому периоду (и только по нему) имеются специально проведенные измерения содержания изотопов Be^{10} , наиболее прямо отражающих вклад космических лучей (одного из вероятных факторов влияния на погодные условия) [31].²⁰

На Рис. 6 на карте Европы, где показано количество годовых осадков, мы приводим уровни значимости повышения цен на пшеницу в минимальных и максимальных состояниях солнечной активности для ряда рынков, где эта реакция оказалась высоко значимой.

Как можно видеть из приведенного рисунка, все зерновые рынки Англии в этот период показали высокую чувствительность к состояниям космической погоды, связанным как с минимумами (d_{\min}), так и с максимумами (d_{\max}) солнечной активности (с очень высоким уровнем доверия, достигающим 99% и выше). Кроме них, высокий уровень достоверности реакции (более 95%) на

¹⁸Для идентификации состояний минимумов и максимумов солнечной активности в период маундеровского минимума мы использовали данные проф. Бира [31], восстановившего уровень космических лучей и солнечной активности в исследуемый период по содержанию изотопа Be^{10} во льдах Гренландии (детали в [43]).

¹⁹“Фиктивность” этих переменных заключается только в том, что они количественным образом описывают качественные показатели типа “да–нет”.

²⁰Дополнительный анализ методом регрессионного анализа с “фиктивными переменными” для других временных интервалов, который мы в данной статье не приводим, показал наличие значимой связи между экстремумами солнечной активности и ценами на пшеницу для Англии в период вплоть до 1840-х годов. Ослабление чувствительности рынков к фактору космической погоды после этого периода мы объясняем резким увеличением вклада импорта зерна — от 5–8% в течение 1801–1840 гг. до 17–78% начиная с 1841 г. [27]. Этот рост импорта разорвал причинно-следственную цепочку в звене “чувствительность изолированного рынка к дефициту поставок.”

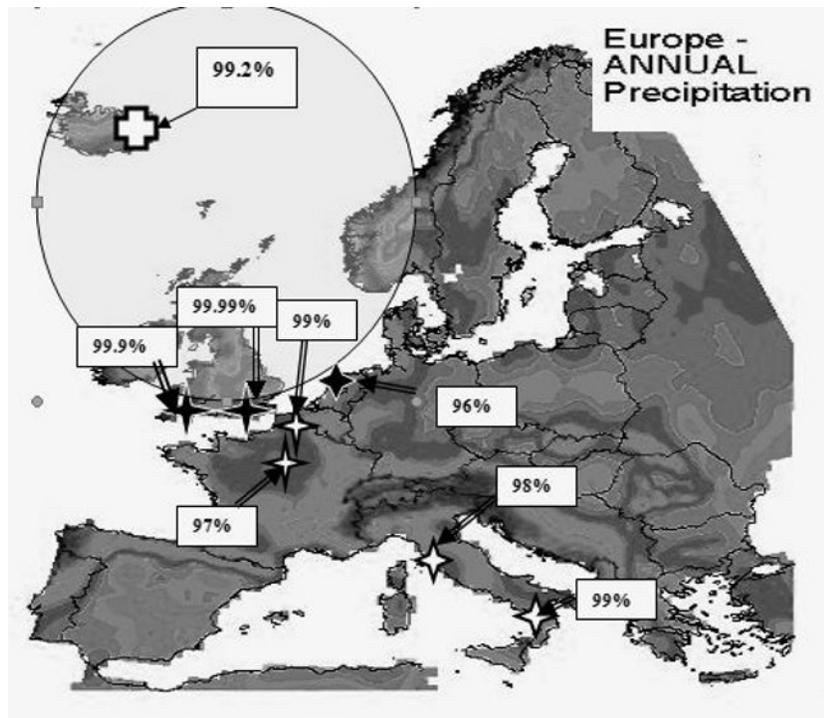


Рис. 6. Карта Европы с распределением ежегодной нормы осадков. Указаны локализация зерновых рынков, показавших значимую чувствительность к условиям космической погоды, и уровень значимости такой чувствительности. Черные звездочки указывают рынки, наиболее чувствительные к состоянию минимума солнечной активности (Лондон, Экзетер — Англия, Лейден — Нидерланды); белые звездочки соответствуют рынкам, чувствительным к фазам максимума солнечной активности (Неаполь, Бассано — Италия). Крестом помечена Исландия, где чувствительность урожая кормов к экстремальным фазам солнечной активности проявилась в периодах голода, приведших к падению численности населения острова (см. Раздел 4.4).

минимумы солнечной активности показал рынок пшеницы в Лейдене (Нидерланды), находящийся в сходных климатических условиях. В то же время некоторые рынки в Бельгии, Франции и особенно в Италии (Неаполь, Бассано) показали достоверную чувствительность к максимальному состоянию солнечной активности.

Поскольку одним из каналов возможного воздействия космической погоды на земную является модуляция облачности в северной Атлантике потоком космических лучей, мы можем ожидать, что в минимумах солнечной активности возможно избыточное количество осадков и дефицит солнечной радиации (неблагоприятные для сельского хозяйства в холодных и влажных регионах). В то же время, в состоянии максимальной солнечной активности поток космических лучей и связанное с ним образование облаков падают, и возможны состояния засухи, неблагоприятные для сельского хозяйства в южных регионах Европы, находящихся под влиянием жаркого и сухого климата Северной Африки, в первую очередь в Италии и Испании.

Приведенные результаты показывают, что на-

блюдаемая чувствительность рынков пшеницы к фактору космической погоды/солнечной активности не является универсальным свойством, неизменным для всех регионов и исторических периодов. Напротив, в зависимости от выполнения, полного или частичного, сформулированных выше необходимых условий (Раздел 2.5 данной статьи) имеет место либо отсутствие реакции на фактор космической погоды/солнечной активности (для большинства рынков Центральной Европы), либо высоко значимая чувствительность к минимальным состояниям солнечной активности (Англия и граничащие с ней рынки Европы), либо значимые реакции на максимальное состояние солнечной активности в зонах чувствительных к засухе (в частности, Италия, находящаяся частично под влиянием сухого и жаркого климата Северной Африки). Таким образом, как наблюдаемое распределение зон чувствительности к космической погоде, так и знак этой чувствительности хорошо согласуются с описанной выше схемой возможных причинно-следственных связей между космической погодой и земными рынками зерна.

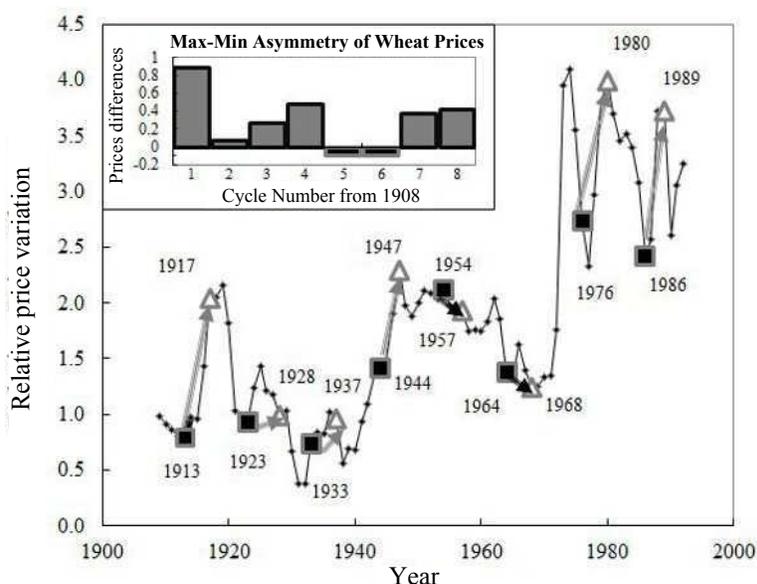


Рис. 7. Изменение цены на пшеницу твердых сортов дурум в США в период 1908–1993 гг. Черные точки и линии — динамика цен, белые треугольники указывают годы максимума солнечной активности, черные квадраты — годы минимума, двойные стрелки показывают изменение цен от минимума солнечной активности к следующему максимуму солнечной активности. В левом верхнем углу показана гистограмма ценовой асимметрии (разница цены в максимуме и цены в предшествующем минимуме солнечной активности) в зависимости от цикла солнечной активности. Белым обозначены циклы с ростом цен от минимума к максимуму солнечной активности, черным — циклы с падением цен.

4.3. Чувствительность к космической погоде рынка пшеницы в США в XX-м веке

Все предыдущее рассмотрение относилось к рынкам зерна в период Средневековья или самого начала Нового времени. Естественно, возникает вопрос, реализуется ли где-либо на планете описанный выше сценарий влияния космической погоды на земные рынки в Новейшее время.

На первый взгляд, повсеместное внедрение современных методов агротехники, повышающих резистентность растений к неблагоприятным погодным условиям, должно нарушить выполнение второго условия (принадлежность в зоне рискованного земледелия, Раздел 2.5), необходимого для реализации данного сценария. Другим фактором подавления возможной чувствительности зерновых рынков к внешним аномалиям является глобализация мировой экономики в XX в., резко облегчившая доступность рынков для внешних поставщиков. Тем не менее, мы сочли возможным провести анализ зернового рынка США в современный период на предмет поиска возможных проявлений зависимости цен на зерно от космической погоды. Для анализа мы использовали цены на пшеницу за период 1908–1993 гг. по данным USDA [46]. На Рис. 7 показано изменение цен на пшеницу в указанный период. Малый объем выборки, включающий только 8 циклов солнечной активности, не позволяет исследовать статистические свойства

интервалов между скачками цен, как это было сделано для средневековой Англии на 500-летней статистике. В этой ситуации мы можем надеяться только на проявление фазовой асимметрии цен, создающей систематическое и значимое различие между ценами на зерно в состояниях максимумов и минимумов солнечной активности.

Как видно на Рис. 7, для используемой выборки действительно наблюдается значимая систематическая асимметрия цен в периоды минимумов-максимумов солнечной активности: цены в состояниях максимума солнечной активности систематически выше цен в предшествующий минимум солнечной активности. Для оценки уровня статистической значимости этой асимметрии мы использовали критерий Стьюдента. При среднем значении асимметрии $\overline{\Delta\text{Price}} = 0.29$ и стандартной ошибке среднего $\sigma(\overline{\Delta\text{Price}}) = 0.12$, уровень значимости для отвержения нулевой гипотезы об отсутствии асимметрии превышает 97%. Таким образом, для исследованной выборки цен на пшеницу в США можно утверждать, что даже в Новейший период сохраняется значимое влияние космической погоды на сельскохозяйственные рынки США, хотя уровень такого влияния несколько ниже, чем наблюдавшийся в период минимума Маун-

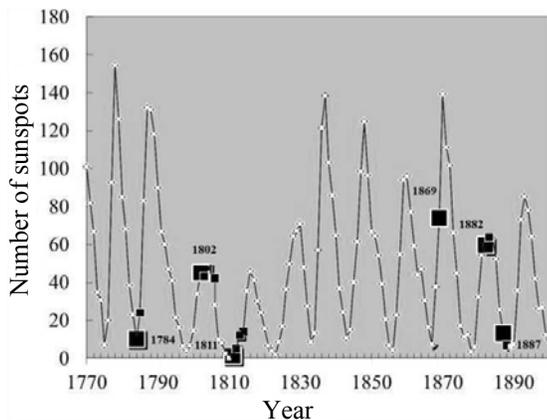


Рис. 8. Связь между солнечной активностью и периодами сокращения населения в Исландии конца XVIII—XIX вв., обусловленными падением поголовья скота из-за дефицита кормов, вызванного погодными аномалиями, на фазовой кривой изменения солнечных пятен. Черными квадратами обозначены периоды снижения численности населения, при этом большие квадраты отмечают моменты начала голодных периодов.

дера²¹ (Рис. 5с). Этот неожиданный результат, возможно, объясняется тем фактом, что посевы пшеницы сорта дурум в США сконцентрированы в очень компактной области: почти 70% всех посевов локализованы на 3% площади США в штате Северная Дакота на границе с Канадой — в зоне, подверженной сильному влиянию Северо-Атлантической Осцилляции (NAO), в свою очередь чувствительной к эффектам космической погоды.

4.4. Возможное проявление аномалий космической погоды через локальные аномалии земной погоды в наблюдаемой статистике массового голода

Одним из наиболее трагических проявлений резкого повышения цен на зерно, вызванного неурожаем из-за неблагоприятных погодных условий, является массовый голод и сопутствующее ему снижение численности населения, вызванное как повышенной смертностью, так и массовым переселением/эмиграцией из пострадавших районов. Описанный выше эффект влияния космической погоды на земную, с проявлением в виде неурожаев и скачков цен на зерно, из общих соображений также должен оставить свой след в этой печальной статистике. Очевидно, что такое проявление космической погоды может иметь

²¹Примерно тот же уровень значимости связи “солнечная активность—цены” (96%) дает использование для этой выборки метода “фиктивных переменных,” описанного в Разделе 4.2.

место только в тех регионах и только в те периоды, для которых выполняются все три необходимых условия связи “космическая погода—цены на сельскохозяйственную продукцию” (Раздел 2.5). В качестве возможного региона для поиска подобных проявлений мы выбрали Исландию XIX в. Для выбора этого региона и этого периода были следующие причины.

1) Местонахождение Исландии в районе Северной Атлантики, высоко чувствительном к факторам космической погоды (“космические лучи—облачность”, North Atlantic Oscillation), что соответствует первому необходимому условию из Раздела 2.5.

2) Принадлежность Исландии XIX в. к зоне “рискованного земледелия” из-за специфики тогдашнего сельского хозяйства, крайне чувствительного к погоде. В исследуемый период основным источником продуктов питания являлось не прибрежное рыболовство, как в более позднее время, но животноводство, полностью зависевшее от урожая травы на местных пастбищах. Травы Исландии считаются одними из лучших в Европе благодаря долгому солнечному дню в короткий период прохладного лета. Таким образом, сельское хозяйство страны было в этих условиях крайне чувствительным к погодным условиям (заморозкам, облачности, доле солнечных дней, осадкам), и через них — к космической погоде. Подчеркнем, что в ситуации с Исландией к сбою с урожаем кормов мог привести как избыток осадков и дефицит солнечной радиации, так и дефицит осадков и засуха (ситуация, подобная случаю IV на Рис. 4). Таким образом, для Исландии того времени мы должны ожидать негативную реакцию на оба экстремальных состояния солнечной активности, как на минимум, так и на максимум.

3) Изолированность Исландии в исследуемый период от основных продовольственных рынков, поставки из которых могли бы смягчить последствия неурожаев (третье условие из Раздела 2.5).

Источником данных о неурожаев кормов и вызванных ими случаях снижения поголовья скота и численности населения является работа американского исследователя D. A. Vasey [39]. Как показано в этой работе, все периоды снижения численности населения Исландии в XIX в. совпадают со снижением поголовья скота, вызванного, в свою очередь, сокращением урожая кормов, обусловленным резкими погодными аномалиями (исключительно суровыми зимами с аномально длительными периодами зимних штормов и низких температур). На Рис. 8 соответствующие периоды голода, вызванного сокращением поголовья скота из-за отсутствия кормов, отмечены черными квадратами. Бросается в глаза, что моменты начала всех шести

периодов снижения численности населения (маркеры большого размера) всегда либо совпадают, либо приходятся на годы, ближайšie к началу экстремального состояния солнечной активности (минимума или максимума солнечных пятен), длящегося от одного года до трех–четырёх лет.

Для проверки данной гипотезы мы выделили периоды вокруг этих событий — “голодных лет,” выделяемые от минимума до минимума для событий, произошедших в период максимума цикла, и, наоборот, от максимума до максимума для событий, имевших место в период минимума. Для сведения данных из разных циклов, отличающихся и длительностями, и амплитудами, и формой (асимметрией) в единую однородную выборку для каждого года количество солнечных пятен было перенормировано в относительную амплитуду, а моменты времени — в относительные фазы цикла.

Для событий в районе максимума цикла нормированная амплитуда y_{norm} определялась как отклонение от минимального значения числа солнечных пятен в данном цикле, нормированное на размах изменений цикла:

$$y_{\text{norm}} = \frac{ssn_i - ssn_{\text{min}}}{ssn_{\text{max}} - ssn_{\text{min}}},$$

где ssn_i — число солнечных пятен в году i , ssn_{min} — наименьшее число солнечных пятен в год минимума, ssn_{max} — число солнечных пятен в году максимума. Для событий в окрестности минимума цикла использовалось абсолютная величина отклонения от максимального значения, нормированная на размах изменений числа пятен в цикле:

$$y_{\text{norm}} = \frac{ssn_{\text{max}} - ssn_i}{ssn_{\text{max}} - ssn_{\text{min}}},$$

Моменты времени t_i пересчитывались в фазы цикла Φ_i по следующей формуле:

$$\Phi_i = \frac{|t_i - t_{\text{ext}}|}{T_{\text{cycle}}},$$

где t_{ext} — момент времени минимума или максимума данного цикла, а T_{cycle} — продолжительность цикла в годах. Полученные нормированные фазовые данные для тех шести циклов, в ходе которых было отмечено уменьшение населения в результате неурожая кормов и снижения поголовья скота [39], объединены в выборку, представленную на Рис. 9.

Как видно из этого рисунка, все шесть случаев снижения численности населения в Исландии в период 1784–1900 гг. приходятся на $\Delta\Phi_0 \leq 20\%$ фазового пространства солнечного цикла вокруг экстремума цикла (максимума или минимума). Учитывая, что наша привязка событий голода к экстремумам солнечной активности (то есть как к минимумам, так и к максимумам) сужает объем независимого фазового пространства вдвое, пересчитанная

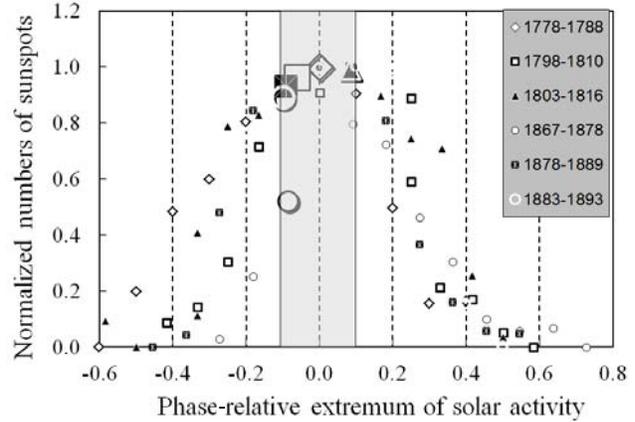


Рис. 9. Фазовая диаграмма, сформированная путем наложения шести периодов солнечной активности, в которых имело место сокращение населения и снижение поголовья скота в Исландии. По горизонтальной оси показана фаза цикла солнечной активности относительно его экстремума (максимума или минимума), маленькими значками отображено нормированное число солнечных пятен для разных циклов (временные интервалы для каждой последовательности даны в описании значков), значки большого размера отмечают годы начала падения численности населения для данного цикла. Серый прямоугольник в центре рисунка ограничивает ту долю фазового пространства циклов, в которой имели место события сокращения населения.

доля фазового интервала, в которую попадают все исследуемые случаи голода, должна быть переоценена как $\Delta\Phi_f = 2\Phi_0 \leq 0.4$ от длительности всего цикла. Соответствующая вероятность P случайной реализации такого совпадения для шести независимых событий, случайно и равномерно распределенных в фазовом пространстве цикла, может быть оценена как $P = 0.4^6 \approx 0.004 < 0.5\%$, что, на наш взгляд, исключает нулевую гипотезу о случайной природе такого совпадения.

Обнаруженная фазовая привязка периодов сокращения численности населения в Исландии из-за неурожая, вызванных погодными аномалиями, к экстремумам солнечной активности, позволяет утверждать о высоко достоверном проявлении негативного влияния экстремумов космической погоды/солнечной активности на состояние сельскохозяйственного рынка в данном регионе в исследуемый исторический период. Данный тип реакции согласуется с откликом, ожидаемым для этого региона согласно сценарию типа IV по классификации на Рис. 4.

5. ВЫВОДЫ И ДИСКУССИЯ

В данной работе описана модель возможного влияния космической погоды на земные рынки сельскохозяйственной продукции, основанная на

причинно-следственной цепочке “космическая погода—земная погода—сельскохозяйственное производство—рыночные цены.”

- 1) Отмечено, что реализация данной цепочки требует одновременного выполнения набора необходимых условий в данном месте и в данный исторический период. Поэтому связь между космической погодой и состоянием сельскохозяйственных рынков не является универсальной, а проявляется только в тех областях и только в те исторические периоды, где и когда выполнены все необходимые для этого условия (атмосферные, агроклиматические и рыночные).
- 2) Продемонстрировано достоверное проявление этой зависимости для случая средневековой Англии (особенно в период минимума Маундера).
- 3) Показано, что чувствительность европейских рынков зерна к фактору космической погоды (включая знак реакции) зависит от локализации в соответствующей климатической зоне.
- 4) Показано, что даже в Новейшее время эффект зависимости от космической погоды/солнечной активности сохранялся в США для пшеницы дурум, производимой в очень компактной области в зоне, чувствительной к влиянию эффектов North Atlantic Oscillation.
- 5) Показано совпадение периодов сокращения численности населения в Исландии XVIII—XIX вв., обусловленных голодом из-за неурожая кормов и сокращения поголовья скота из-за погодных аномалий, с экстремальными фазами солнечной активности/космической погоды. Данное совпадение мы объясняем как проявление исследуемой нами зависимости между космической погодой и урожаем/ценами.

Представленные результаты доказывают реальность проявления эффектов космической погоды в поведении земных рынков сельскохозяйственных продуктов для регионов, в которых в исследуемый период выполнялись описанные выше необходимые условия для реализации соответствующей причинно-следственной цепочки.

Постоянное развитие сельскохозяйственных технологий с использованием достижений генной инженерии, биотехнологии, применением искусственного орошения и активным внедрением агрохимии и методов защиты растений должно приводить к повышению устойчивости сельскохозяйственных культур к внешним факторам типа погодных аномалий. Этот процесс должен автоматически разрывать причинно-следственную связь “космическая погода—цены на сельскохозяйственную продукцию,” подавляя в этой цепочке ключевое звено “погода—урожай.” Соответственно, в

ближайшем будущем можно было бы предположить постепенное ослабление чувствительности цен на зерно и другие сельскохозяйственные товары к фактору космической погоды.

К сожалению, наблюдающееся в последние годы глобальное и резкое изменение климата может привести к противоположным результатам. Главной особенностью этого изменения является резкое нарастание количества и амплитуды погодных аномалий, особенно сдвиги традиционных временных границ сезонных состояний погоды. В этих условиях, в большом количестве регионов многолетняя (и даже многовековая) селекция сортов сельскохозяйственных культур, наиболее подходящих для “стандартной погоды” данного региона, может оказаться неоптимальной. Резкое отклонение локальных погодных условий от “стандартных” может привести к тому, что в значительном числе регионов сельскохозяйственное производство окажется в состоянии рискованного земледелия, высокочувствительного к погодным аномалиям. Если такой переход произойдет в зоне, где погода чувствительна к состоянию солнечной активности/космической погоды, а поставки сельскохозяйственной продукции извне по тем или иным причинам ограничены, то причинно-следственная цепочка “космическая погода—цены,” описанная в данной работе, может реализоваться даже в современных условиях технологического прогресса и глобализации рынка. Для идентификации регионов, где этот негативный процесс может иметь место в ближайшем будущем, необходим прогресс в понимании физики процессов глобального изменения климата и их последствий для локальных погодных условий в различных регионах, знание порогов устойчивости районированных там сельскохозяйственных культур и прогресс в раскрытии механизмов солнечно-земных связей в контексте их влияния на погодные условия в исследуемых регионах. Эта задача требует объединения усилий специалистов из различных областей: от аграриев и метеорологов до астрофизиков и специалистов по космической погоде.

БЛАГОДАРНОСТИ

Это исследование было поддержано грантом Израильского Космического Агенства Министерства Науки и Технологии Израиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Swift, *Travels into Several Remote Nations of the World, in Four Parts. By Lemuel Gulliver, First a Surgeon, and then a Captain of several Ships* (For Benj. Motte, London, 1726).
2. A. Smith, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* (W. Strahan & T. Cadell, London, 1776).

3. W. Herschel, Philosophical Transactions of the Royal Society of London **91**, 261 (1801).
4. А. Л. Чижевский, *Земное эхо солнечных бурь* (Мысль, Москва, 1976).
5. W. S. Jevons, Nature **13**, 15 (1875).
6. W. S. Jevons, Nature **19**, 33 (1878).
7. W. S. Jevons, Nature **19**, 588 (1879).
8. C. Azariadis, J. Econ. Theory **25**, 380 (1981).
9. K. Georgieva and B. Kirov, J. Atmos. Solar Terr. Phys. **73**(2–3), 207 (2011).
10. H. Svensmark and E. Friis-Christensen, J. Atmos. Sol. Terr. Phys. **59**, 1225 (1997).
11. N. D. Marsh and H. Svensmark, Phys. Rev. Lett. **85**, 5004 (2000).
12. J. Kirkby and CLOUD collaboration, Nature **476**, 429 (2011).
13. R. Lukianova and G. Alekseev, Solar Physics **224**, 445 (2004).
14. F. Boberg and H. Lundstedt, Geophysical Res. Lett. **29**(15), 13 (2002).
15. K. Lassen and E. Friis-Christensen, J. Atm. Terr. Phys. **57**, 835 (1995).
16. B. Fastrup, E. Pedersen, E. Lillestol, et al. (CLOUD collaboration), Preprint CERN/SPSC 2000-021, SPSC/P317 (2000); http://cloud.web.cern.ch/cloud/documents_cloud/cloud_proposal.pdf.
17. N. J. Shaviv, J. Geophys. Res.–Space Phys. **110**, A08105 (2005).
18. R. G. Harrison and D. B. Stephenson, Proc. of the Royal Soc. A **462** (2068), 1221 (2006).
19. М. И. Пудовкин, О. М. Распопов, Успехи физических наук **163**, 113 (1993).
20. L. I. Dorman, in *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Ed. by M. L. Letcher (Elsevier, 2009), pp. 43–76.
21. М. Г. Огуртсов, Г. Е. Коcharov, and Yu. A. Nagovitsyn, Astron. Rep. **47**, 517 (2003).
22. J. D. Haigh, A. R. Winning, R. Toumi, and J. W. Harder, Nature **467**, 696 (2010).
23. R. Brázdil, P. Dobrovolný, J. Luterbacher, et al., Climatic Change **101**, 7 (2010).
24. A. Ruzmaikin, Advances in Space Research **40**, 1146 (2007).
25. G. M. Richter and M. A. Semenov, Agric. Syst. **84** (1), 77 (2005).
26. R. J. Shiller, Speculative Prices and Popular Models, J. Econ. Perspectives **4** (2), 55 (1990).
27. M. Ejrnæs, K. G. Persson, and S. Rich, The Economic History Review **61** (s1), 140 (2008).
28. V. I. Arnold, *Catastrophe Theory* (Springer-Verlag, Berlin, 1992).
29. W. H. Beveridge, Economic Journal **XXXI**, 429 (1921).
30. Yu. A. Nagovitsyn, Astron. Lett. **33**, 385 (2007).
31. J. Beer, S. Tobias, and N. Weiss, Solar Phys. **181**, 237 (1998).
32. J. E. T. Rogers, *A History of Agriculture and Prices in England*, (Clarendon Press, Oxford, 1866; Reprinted by Kraus Reprint Ltd, Vaduz, 1963).
33. E. H. P. Brown and S. V. Hopkins, *Economica* **XXIII**, 296 (1956).
34. International Institute of Social History, <http://www.iisg.nl/index.php>.
35. A. B. Appleby, J. Econ. History **39**, 865 (1979).
36. P. H. Hooker, J. Royal Stat. Soc. **70**, 1, (1907).
37. H. Arctowski, Bull. Amer. Geograph. Soc. **XLII**, 270 (1910).
38. H. Arctowski, Bull. Amer. Geograph. Soc. **XLII**, 481 (1910).
39. D. A. Vasey, Climatic Change **48**, 243 (2001).
40. M. A. Shea and D. F. Smart, Radiocarbon **34**, 255 (1992).
41. P. V. Kishcha, I. V. Dmitrieva, and V. N. Obridko, J. Atmos. Sol. Terr. Phys. **61**, 799 (1999).
42. A. Ruzmaikin, Geophys. Res. Lett. **26**, 2255 (1999).
43. L. A. Pustil'nik and G. Yom Din, Solar Physics **223**, 335 (2004).
44. L. A. Pustil'nik and G. Yom Din, Solar Physics **224**, 473 (2004).
45. D. B. Suits, J. Amer. Stat. Assoc. **52**, 548 (1957).
46. USDA, National Agricultural Statistics Service, Prices Received by Farmers: Historic Prices & Indexes 1908–1992 (92152), <http://usda.mannlib.cornell.edu/>.

On Possible Influence of Space Weather on Agricultural Markets: Necessary Conditions and Probable Scenarios

L. Pustilnik, G. Yom Din

We present the results of study of a possible relationship between the space weather and terrestrial markets of agricultural products. It is shown that to implement the possible effect of space weather on the terrestrial harvests and prices, a simultaneous fulfillment of three conditions is required: 1) sensitivity of local weather (cloud cover, atmospheric circulation) to the state of space weather; 2) sensitivity of the area-specific agricultural crops to the weather anomalies (belonging to the area of risk farming); 3) relative isolation of the market, making it difficult to damp the price hikes by the external food supplies. Four possible scenarios of the market response to the modulations of local terrestrial weather via the solar activity are described. The data sources and analysis methods applied to detect this relationship are characterized. We describe the behavior of 22 European markets during the medieval period, in particular, during the Maunder minimum (1650–1715). We demonstrate a reliable manifestation of the influence of space weather on prices, discovered in the statistics of intervals between the price hikes and phase price asymmetry. We show that the effects of phase price asymmetry persist even during the early modern period in the U.S. in the production of the durum wheat semolina. Within the proposed approach, we analyze the statistics of depopulation in the eighteenth and nineteenth century Iceland, induced by the famine due to a sharp livestock reduction owing to, in its turn, the lack of foodstuff due to the local weather anomalies. A high statistical significance of temporal matching of these events with the periods of extreme solar activity is demonstrated. We discuss the possible consequences of the observed global climate change in the formation of new areas of risk farming, sensitive to space weather.

Keywords: *Sun: solar-terrestrial relations*