



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 15 • № 1 • 2019 С. 11–18

<https://doi.org/10.18372/2411-6602.15.03>

УДК 523.98

## Корреляция урожая зерновых с изменениями индекса солнечной активности

А.П. Видьмаченко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, 03143, г. Киев, ул. Академика Заболотного, 27

<sup>2</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, 03041, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

*Превращенная на поверхности Земли в тепло энергия Солнца является главной составляющей при формировании земного климата. Поэтому климатические процессы существенно зависят от изменения индекса солнечной активности (СА). Это может стать основой для прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур. Временной ряд данных об урожайности зерновых культур мы рассматривали как наложение долгосрочного тренда, нескольких циклических составляющих и случайной компоненты. Данные между точками на временной шкале для индекса солнечной активности  $S_n$  согласованы с месячными и для урожайности — с годовыми интервалами. Динамика изменений кривых урожайности имеет волновой характер. Сглаженные за 47-летний период исследований кривые урожайности выделили общий тренд. На его фоне спектральным анализом выявлены короткие волны урожайности с периодами в 2–3 года и амплитудами для разных культур от 3–5 до 20–25 ц/га. Значение урожая сильнее всего зависит от величины индексов СА в месяцы посева зерновых, выхода в трубу и созревания. Результаты выполненных расчетов показывают, что высокие значения коэффициентов корреляции достигаются при сравнении хода урожайности выбранных зерновых культур не с 11-летним, а с 22-летним Хейловским магнитным циклом солнечной активности. После его вычитания спектральный анализ с достоверностью 90% указал на существование квазипериодических составляющих со значением периода около  $2,134 \pm 0,062$  года. Поиск возможных периодических процессов в Солнечной системе, которые могли бы стать причиной изменения урожайности с отмеченным значением периода, показал, что такую же периодичность имеет гравитационное взаимодействие планет при противостоянии Земли и Марса. Анализ приведенных в работе данных показывает, что максимальные урожаи бывают в годы, когда на противостояниях менее 0,55 а.е. противостояния планет происходят весной и летом в моменты основной вегетации анализируемых зерновых культур.*

**Ключевые слова:** прогноз урожайности; солнечно-атмосферные связи; солнечная активность.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Климатические изменения существенно влияют на многие жизненные процессы нашей планеты. За последнее столетие ощутимо повысилась средняя глобальная температура воздуха возле поверхности, уменьшилась суммарная площадь ледников, вследствие подъема уровня вод Мирового океана под воду стали уходить низинные береговые участки и невысокие острова. Также из-за изменений в динамике общей циркуляции атмосферы участились мощные ураганы, засухи и наводнения. Над Антарктикой и некоторыми промышленными регионами значительно уменьшилась мощность стратосферного озонового слоя. Отметим, что к чисто природным причинам изменения климатической ситуации на Земле добавилось и антропогенное воздействие. Основным источником тепла в климатообразующей системе Земли является Солнце. Именно превращенная на поверхности в тепло солнечная энергия является главной составляющей, формирующей земной климат. Поэтому климатические процессы на нашей планете существенно зависят от активности центрального светила. И даже самые небольшие изменения солнечной активности (СА) непременно сказываются на погоде и климате Земли.

### 2. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И СОЛНЕЧНО-АТМОСФЕРНЫЕ СВЯЗИ

Например, в 1650–1715 гг. пятен на Солнце практически не было (известный минимум Маундера). Это соответствовало времени довольно холодной погоды в Европе [29]. Для количественной оценки активности Солнца швейцарский астроном Р. Вольф предложил использовать позднее названные в его честь числа Вольфа ( $W$ ) [1]. Оказалось, что солнечная активность имеет определенную периодичность, и начиная с 1787 г. стали выделять циклы длительностью 11 и 22 года, вековые циклы с периодом в 300 и даже 1500 лет. 11-летний цикл СА отражает изменения крупномасштабного магнитного поля Солнца, при котором в течение всех 11 лет знак магнитного поля пятен не изменяется, но при этом варьирует их число, интенсивность различных проявлений СА и их распределение по поверхности. 22-летний магнитный цикл состоит из двух 11-летних, причем каждая следующая пара циклов начинается с парного номера 11-летнего [2]. Изменения светового потока в видимом свете на протяжении 11-летнего цикла не превышают десятой доли процента. Но ультрафиолетовая (УФ) радиация изменяется на более чем

Видьмаченко Анатолий Петрович; ✉ [vida@mao.kiev.ua](mailto:vida@mao.kiev.ua)

несколько десятков процентов. Полный приток солнечной энергии за 11-летний цикл меняется на около  $0,35 \text{ Вт/м}^2$  при среднем значении притока до уровня верхней атмосферы  $1366 \text{ Вт/м}^2$  [29]. Это может приводить к вариациям глобальной температуры на  $0,1^\circ\text{C}$ . Но иногда изменения солнечной постоянной могут превышать  $7\text{--}8 \text{ Вт/м}^2$ , вызывая вариации глобальной температуры на  $1\text{--}2^\circ\text{C}$ . В качестве примера существенных климатических изменений на Земле можно указать на относительно теплый период в XI–XIII веках, который совпал с периодом повышенных значений индексов СА.

Важным звеном в проблеме солнечно-атмосферных связей является стратосфера. Ей отводится роль спускового элемента, обеспечивающего передачу энергетических возмущений к более глубоким слоям атмосферы [38]. Ведь именно в стратосфере происходит преимущественное поглощение УФ радиации Солнца [31–33], и при усилении СА увеличивается поступление тепла, вызывая рост температуры и изменяя режим циркуляции.

По определению, погода — это ежедневное состояние атмосферы, не изменяющееся на протяжении до десятка дней. А климат — это уже состояние погоды, усредненное за время более десятка лет. Поэтому он значительно более стабильный и включает среднюю температуру, количество осадков, солнечных дней и т.п. Климат нашей планеты определяется взаимодействиями между Солнцем, сушей, океанами и биосферой [5, 7, 23]. И главной энергетической силой для влияния на погоду и формирование климата Земли является Солнце [21, 25]. Ведь уменьшение приходящей на Землю солнечной энергии всего на  $\sim 1\%$  [42] могло провоцировать ледниковые периоды [4, 8, 9].

Изменения климата Земли происходили в результате действия таких геофизических и астрономических факторов, как вариации СА, океанической и атмосферной циркуляции, положения Луны и планет-гигантов по отношению к Земле. А сейчас климат изменяется еще и в результате антропогенного воздействия [17]. Так, всегда при возрастании активности Солнца имело место потепление. Поэтому основной причиной существующего потепления также может быть повышение интенсивности солнечной светимости в течение всего XX века [19, 40], обладающим самым высоким уровнем активности на протяжении последних 500 лет [29]. Согласно прогнозам [40], в ближайшее десятилетие можно ожидать уменьшения солнечной активности до масштабов, имевших место в конце XVII века. И тогда тренд повышения среднегодовой температуры может измениться трендом ее понижения.

### 3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ

При исследовании изменений солнечной активности можно найти периоды с внешне похожими характеристиками фотосферы, которые были бы похожими и по погодным условиям на нашей планете. Это позволяет предполагать существование соответствия между ходом вариаций СА и климатическими условиями. Такой метод может стать основой построения прогнозов, например, будущей урожайности сельскохозяйственных культур [24, 26]. При подобных исследованиях временной ряд данных можно рассматривать как наложение долгосрочной тенденции (или тренда) в развитии ряда, нескольких циклических составляющих и случайной компоненты, влиянием которой часто можно пренебречь. Данные между точками исследуемых нами рядов на временной шкале согласованы с месячными (для индекса солнечной активности  $S_n$ ) и годовыми (для урожайности разных культур) интервалами. Кривые тренда сглаживают динамический ряд значений, выделяя общую тенденцию. Если в анализируемой временной последовательности наблюдаются периодические отклонения от тенденции, то можно предположить наличие в ряду одного или нескольких колебательных процессов. Колебания вокруг тренда выявляются с помощью спектрального анализа, с использованием преобразования Фурье.

Статистическую обработку временных рядов мы выполняли с использованием пакетов Excel-2016. Для возможного прогнозирования необходимо попытаться установить причинно-следственные связи между величинами и выявить вероятностные пути будущего развития явлений [20]. Эти данные должны иметь достаточно длительную историю и позволять регистрировать закономерности развития тенденций и их взаимосвязь с другими явлениями. Например, формирование высоких урожаев зерна озимых и яровых зерновых культур происходит в осенний и весенне-летний сезоны при достаточном увлажнении и комфортных температурах [14]. Именно агрометеорологические условия являются решающим фактором в формировании урожайности наряду с плодородием почвы и уровнем культуры земледелия, причем скорость метаболических процессов в растениях определяется условиями в окружающей среде, что связано с изменениями физических и химических характеристик в атмосфере и в почве выращивания [22]. Приходящее солнечное излучение обеспечивает основную долю энергии, необходимую для метаболизма растений через процесс фотосинтеза, на который используется почти половина падающего излучения [28]. Это значит, что формирование урожая зерновых культур связано с комплексом факторов, среди которых важное место занимают природно-климатические условия, зависящие от СА.

Материалом для исследования мы выбрали статистические данные об урожайности зерновых сельскохозяйственных культур (в ц/га) в Полтавской области [13], охватывающие период с 1966 по 2012 г., и данные о среднемесячном и годовичном индексах СА  $S_n$  [42] (табл. 1). По ним мы попытаемся выяснить

некоторые причины изменения их урожайности. Среди выращиваемых в Украине зерновых культур распространены пшеница, рожь, ячмень, кукуруза, овес, просо, горох, подсолнухи. Их уровень урожайности формируется под влиянием множества факторов. Среди природных факторов в течение вегетационного периода наибольшее влияние на растения оказывают метеорологические факторы, в частности средне-месячная температура, количество осадков, запасы влаги в грунте и т.п. [13, 20, 23, 24].

Однако совсем не случайно урожайность и ее изменения связывают и с такими факторами, как цикличность солнечной активности и планетно-земные воздействия [8, 29]. Так, связь урожайности озимой ржи и ярового ячменя с солнечными и лунными циклами рассмотрена, например, в работе [12].

Вегетационный период озимых зерновых начинается осенью и заканчивается летом следующего года. Поскольку в зимнее время вегетация отсутствует, то наиболее важными месяцами можно считать сентябрь, октябрь (иногда ноябрь) и апрель–июль [6, 11]. Для вегетации яровых культур важны только четыре последних месяца, каждый из которых играет определенную роль в росте и развитии растений. Хотя для некоторых культур для вызревания урожая следует учитывать еще и погодные условия в августе–сентябре, а иногда и в октябре. Таким образом, величину урожая надо рассматривать как функцию элементов единого почвенно-климатического процесса [15, 16].

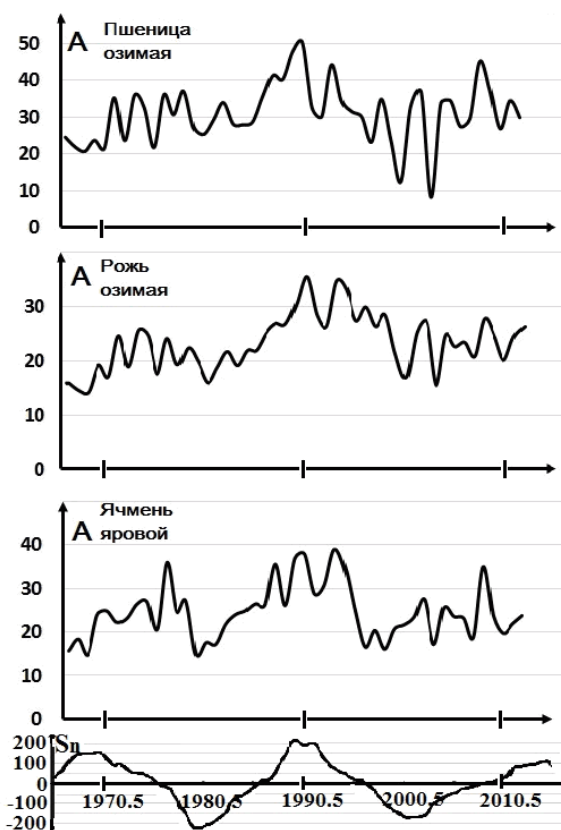
Для условий лесостепи Украины вегетационный период озимой пшеницы длится 290–310 дней, с сентября по июль: последние 4 месяца предыдущего года и первые 6–7 месяцев реперного года. Вегетационный период озимой ржи составляет 260–270 дней: с сентября по июнь–июль. Вегетационный период ярового ячменя и проса составляет 60–110 дней: апрель, май, июнь, июль, иногда начало августа; кукурузы на зерно — 90–200 дней: апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, иногда и октябрь; овса — 5 месяцев: апрель, май, июнь, июль, август; гороха — до 210 дней для разных сортов: апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, иногда октябрь; подсолнечника — 120–150 дней: апрель, май, июнь, июль, август и иногда сентябрь. На рис. 1 представлены кривые урожайности озимой пшеницы, озимой ржи, ярового ячменя; на рис. 2 — кукурузы на зерно, овса, проса; на рис. 3 — гороха и подсолнечника; внизу на каждом рисунке приведены среднегодовые значения индексов CA Sp.

Отметим, что наивысшая урожайность озимой пшеницы была в 1989/1990 гг. (50,2 ц/га); минимальной — в 2002/2003 гг. (8,3 ц/га). Ход изменения урожайности озимой ржи очень похож на таковой для озимой пшеницы; но для первой — абсолютные значения почти в два раза меньше, при самой высокой урожайности в 1989/1990 г. (35,5 ц/га). Самая высокая урожайность ярового ячменя была в 1989/1990 гг. (37,9 ц/га), а самая низкая — в 1967/1968 гг. (14,8 ц/га). Вид усредненной кривой урожайности для кукурузы на зерно отличается от предыдущих зерновых культур. Прежде всего тем, что урожайность в соседние годы различается совсем незначительно, но основной тренд имеет практически такой же ход, как и для озимых пшеницы и ржи и ярового ячменя. В 2011 г. урожайность кукурузы была самой высокой и составила 81,6 ц/га, а самой низкой — в 1976 г. (15,2 ц/га). Самый высокий урожай овса был в 1993 г. (39,6 ц/га), а самый низкий — в 1979 г. (13,9 ц/га). Низкой урожайность проса была в 2001 г. (9,2 ц/га), высокой — в 2011 г. (25,7 ц/га). Самой высокой урожайность гороха была в 1990 г. (30,6 ц/га), а низкой — в 1997 г. (8,7 ц/га). Данные об урожайности подсолнечника показывают, что за исследуемый период наибольшая урожайность наблюдалась в 2011 г. (23,6 ц/га), а самая низкая в 1997 г. (8,7 ц/га).

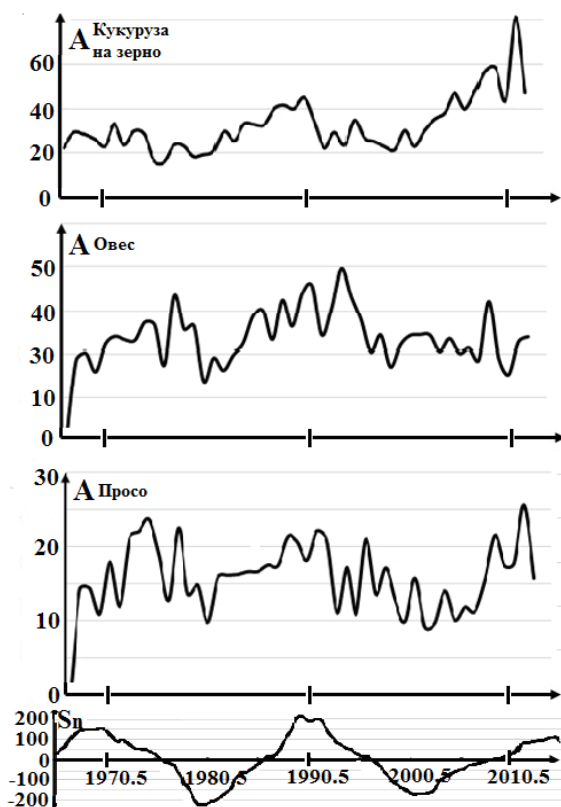
Наиболее заметным в кривых урожайности есть то, что динамика их изменений имеет волновой характер. На фоне общего тренда изменения урожайности с/х культур с двумя глобальными минимумами и двумя-тремя максимумами за весь 47-летний период исследований наблюдаются и сравнительно короткие волны урожайности, которые имеют периоды в 2–3 года и амплитуды для разных культур от 3–5 до 20–25 ц/га.

Поскольку процессы на Солнце влияют на планетные события [27, 34, 35, 39, 41] и погодно-климатические условия в земной атмосфере как непосредственно, так и опосредованно (через влияние солнечной активности), то в настоящем исследовании мы проанализируем именно влияние солнечной активности Sp за каждый из тех месяцев, когда зерновая культура была посеяна (в сентябре–октябре для озимых и в апреле–мае для яровых), проросла (осенью и в начале весны), развивалась и колосилась. Для этого мы вычислили значения коэффициентов корреляции между ежегодными величинами урожайности вышеперечисленных зерновых культур и помесечными значениями индексов солнечной активности Sp [3, 10, 36, 37] за вегетационные периоды соответствующих озимых и яровых с/х культур (табл. 2). Значения коэффициентов корреляции  $r$  для шести выбранных нами культур оказались положительными, но довольно разными и сравнительно небольшими по величине. Для озимой пшеницы  $r$  в разные месяцы вегетационного периода составляет от 20 до почти 29%; для озимой ржи величина  $r$  составляет от 23 до почти 39%; для ячменя ярового — от 34 до почти 39%; для кукурузы на зерно — от 24 до 35%; для гороха  $r$  находится в пределах 19–27%. И для подсолнуха имеем наибольший коэффициент корреляции со значениями  $r$  от 50 до почти 57%.

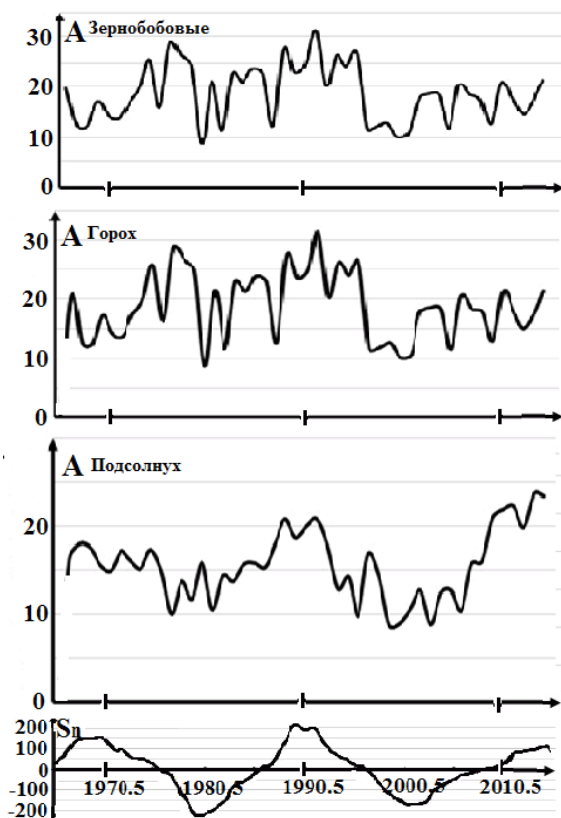
Как видно, конечное значение урожая сильнее всего зависит от величины индексов солнечной актив-



**Рис. 1.** Изменения средней урожайности озимых пшеницы и ржи, ячменя яровой и индекса солнечной активности в 1966–2012 гг.



**Рис. 2.** Изменения средней урожайности кукурузы на зерно, овса, проса и индекса солнечной активности в 1966–2012 гг.



**Рис. 3.** Изменения средней урожайности гороха, подсолнечника и индекса солнечной активности в 1966–2012 гг.

**Таблица 1.** Средние значения урожайности сельскохозяйственных культур в Полтавской области за 1966–2012 гг. [13]

№ п/п	Год	Sn	Дата противостояний Земли и Марса	Расстояние Земля–Марс, а.е.	Культуры ц/га							
					Пшеница озимая	Рожь озимая	Ячмень яровой	Кукуруза на зерно	Овес	Просо	Горох	Подсолнух
1	1966	66,8			24,5	15,9	15,7	22,1	18,6	14,3	20,6	16,3
2	1967	132,9	15.04	0,605	21,9	14,5	18,4	29,2	20,3	14,5	12,6	18,0
3	1968	150			20,7	14,2	14,8	28,4	16,1	10,9	12,5	17,5
4	1969	149,4	31.05	0,486	23,7	19,2	23,9	26,1	22,2	18,0	17,3	15,5
5	1970	148			21,5	17,0	24,9	22,9	23,9	12,0	14,2	14,9
6	1971	94,4	10.08	0,376	35,2	24,6	22,3	33,3	23,1	21,2	13,8	17,2
7	1972	97,6			23,6	18,9	23,2	23,4	23,0	22,1	17,3	16,1
8	1973	54,1	25.10	0,441	35,9	25,6	26,4	29,9	27,1	23,8	20,0	15,1
9	1974	49,2			32,4	24,6	27,0	28,6	26,5	19,0	26,0	17,3
10	1975	22,5	15.12	0,570	21,7	17,5	20,7	16,2	17,6	12,8	16,3	14,9
11	1976	–18,4			36,0	24,1	36,0	15,2	33,6	22,6	28,8	10,0
12	1977	–39,3			30,6	19,3	24,7	23,2	25,5	13,7	27,0	13,7
13	1978	–131	21.01	0,654	37,0	22,4	27,2	23,2	26,3	14,9	24,6	11,7
14	1979	–220,1			27,1	19,6	14,9	18,2	13,9	9,8	8,7	15,9
15	1980	–218,9	25.02	0,677	25,3	15,9	17,6	19,0	19,2	15,9	21,4	10,5
16	1981	–198,9			29,2	18,8	17,2	20,6	16,4	16,2	11,7	14,3
17	1982	–162,4	31.03	0,637	33,9	21,7	21,8	29,8	19,8	16,3	22,9	13,7
18	1983	–91			28,1	19,1	24,0	25,3	22,4	16,7	21,3	15,7
19	1984	–60,5	11.05	0,537	27,9	21,9	24,9	33,2	28,5	16,7	23,8	15,8
20	1985	–20,6			28,6	21,9	26,5	32,9	30,1	17,6	22,8	15,3
21	1986	14,8	10.07	0,406	35,3	25,1	26,1	32,8	23,2	17,5	12,7	18,2
22	1987	33,9			41,2	26,9	35,6	40,2	32,5	21,4	27,7	20,8
23	1988	123	28.09	0,396	40,2	26,7	26,1	41,5	26,2	20,8	23,5	18,6
24	1989	211,1			47,6	30,5	36,9	39,9	34,0	18,2	24,7	19,9
25	1990	191,8	27.11	0,523	50,2	35,5	37,9	44,9	36,0	22,2	31,6	20,8
26	1991	203,3			32,5	28,4	28,8	33,9	24,2	20,9	20,3	17,7
27	1992	133			30,1	26,3	30,7	22,0	30,5	11,1	26,4	12,8
28	1993	76,1	07.01	0,628	44,1	34,7	38,9	29,3	39,6	17,3	23,9	14,2
29	1994	44,9			34,3	33,2	34,8	23,4	33,3	10,8	26,7	9,7
30	1995	25,1	12.02	0,676	31,4	27,4	24,8	34,9	27,8	21,1	11,7	16,8
31	1996	11,6			30,0	29,9	16,6	26,5	20,5	13,6	12,0	14,4
32	1997	–28,9	17.03	0,661	23,2	26,3	20,4	25,1	24,2	17,2	12,7	8,7
33	1998	–88,3			34,8	28,5	16,1	22,7	17,2	12,6	10,2	8,9
34	1999	–136,3	24.04	0,583	23,6	21,3	20,7	21,3	22,0	9,9	10,8	10,6
35	2000	–173,9			12,4	16,9	21,7	30,3	24,1	15,8	17,8	12,7
36	2001	–170,4	13.06	0,456	32,6	25,3	23,4	22,7	24,3	9,2	18,6	8,8
37	2002	–163,6			36,6	27,1	27,5	30,0	24,2	9,7	18,5	12,3
38	2003	–99,3	28.08	0,373	8,3	15,4	17,2	35,4	20,6	14,1	11,6	12,7
39	2004	–65,3			33,6	24,7	25,6	38,1	23,4	10,1	20,5	10,4
40	2005	–45,8	07.11	0,470	34,4	22,6	23,6	46,9	20,2	11,9	18,4	15,7
41	2006	–24,7			27,4	23,4	23,2	39,7	21,3	11,3	17,9	16,0
42	2007	–12,6	28.12	0,600	29,6	20,8	18,8	47,9	18,8	15,7	13,0	20,9
43	2008	–4,2			45,0	27,8	35,0	57,5	32,2	21,6	21,3	21,9
44	2009	4,8			37,4	24,6	23,5	58,2	19,1	17,5	18,1	22,3
45	2010	24,9	29.01	0,664	26,8	20,1	19,7	43,8	15,4	17,8	15,0	19,8
46	2011	80,8			34,4	24,4	21,9	81,6	22,6	25,7	17,1	23,6
47	2012	84,5	03.03	0,674	29,0	26,3	23,8	47,0	23,8	15,8	21,4	23,0

ности в месяцы посева зерновых (как озимых, так и яровых культур), выхода в трубу (июнь) и созревания (июль). Значения коэффициентов корреляции урожайностей кукурузы и подсолнуха с вариациями данных о СА существенно зависят от условий созревания и в августе–октябре, увеличиваясь еще на 15–25%.

Выполнив скользящее сглаживание по четырем последовательным годам, мы получили средние тенденции хода урожайностей. Последующие вычисления коэффициентов корреляции между полученными сглаженными результатами для урожайностей зерновых и ходом среднегодовых значений изменения индексов солнечной активности Sn дали существенно большие значения коэффициентов корреляции, приведенные в последнем одиннадцатом ряду табл. 2. Результаты выполненных расчетов показывают,

**Таблица 2.** Коэффициенты корреляции  $r$  средней урожайности озимых и яровых культур с помесечными значениями индексов солнечной активности

№ п/п	Месяцы года	Пшеница озимая	Рожь озимая	Ячмень яровой	Кукуруза на зерно	Горох	Подсолнух
1	9	0,202	0,225				
2	10	0,264	0,300				
3	11	0,275	0,255				
4	Ноябрь — зима — март						
5	4	0,255	0,303	0,370	0,255	0,211	0,502
6	5	0,211	0,241	0,342	0,235	0,192	0,499
7	6	0,272	0,290	0,374	0,253	0,217	0,519
8	7	0,287	0,383	0,383	0,235	0,262	0,500
9	8				0,267	0,272	0,542
10	9				0,351	0,569	
11		0,762	0,827	0,864	0,819	0,732	0,925

что такие высокие значения коэффициентов корреляции достигаются при сравнении хода урожайности выбранных зерновых культур не с 11-летним, а с Хейловским магнитным циклом солнечной активности [38]. Но анализ полученных результатов указывает на необходимость дополнительно рассматривать еще и особенности каждого 11-летнего цикла СА.

После вычитания 22-летнего тренда из рядов урожайности зерновых мы получили еще шесть рядов данных, спектральный анализ которых с достоверностью 90% указал на существование квазипериодических составляющих с разной амплитудой и со значением периода около  $2,134 \pm 0,062$  года. Мы выполнили поиск возможных периодических процессов на Земле, Солнце и в Солнечной системе, которые могла бы стать возможной причиной изменения урожайности отмеченных выше с/х культур именно с таким значением периода. Анализ различных процессов показал, что 25–26,5 месячную ( $2,134 \pm 0,062$  года) периодичность имеет только такое явление, как противостояние планет Земля и Марс. В зависимости от взаимного расположения именно этих планет в перигелиях или афелиях своих орбит, их противостояние в разные годы повторяется через промежутки времени от 2,085 до 2,214 лет. Когда Земля находится в афелии, а Марс — в перигелии, один раз за 15 или 17 лет происходят так называемые великие противостояния при расстоянии между планетами около 0,37 а.е. Анализ приведенных в табл. 1 данных показывает, что максимальные урожаи преимущественно бывают в годы, когда на расстояниях менее 0,55 а.е. противостояния планет происходят весной и летом в моменты основной вегетации анализируемых зерновых культур.

Отметим, что во время практически всех противостояний, на Марсе из-за гравитационных возмущений возникают как локальные, так и глобальные пылевые бури [30].

## 4. ВЫВОДЫ

Корреляционный и спектральный анализ временных рядов изменений урожайности некоторых зерновых культур показал зависимость долговременных трендов с вариациями среднегодовых индексов солнечной активности. Причем зависимость изменения урожайности наблюдается преимущественно не от 11-летнего цикла, а от Хейловского магнитного цикла СА, с коэффициентом корреляции имеющем значения от 0,732 для гороха, до 0,925 для подсолнуха. После вычитания тренда магнитного цикла СА из рядов урожайности зерновых спектральный анализ с достоверностью 90% указал на существование периодической составляющей со значением периода около  $2,134 \pm 0,062$  года. Одной из наиболее вероятных причин, которая могла привести к вариациям урожайности вышеприведенных зерновых культур с указанным значением периода, позволяет нам сделать вывод о влиянии на урожайность противостояния планет Земля и Марс. Именно взаимное расположение этих планет в перигелиях и афелиях своих орбит повторяется через время чуть более двух лет. Максимальные урожаи преимущественно наблюдались в те годы, когда противостояния указанных планет происходили в месяцы основной вегетации этих культур на расстояниях менее 0,55 а.е.

1. Витинский Ю.И. Солнечная активность. — М.: Наука, 1983. — 192 с.
2. Витинский Ю.И., Копецкий М., Ку克林 Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. — 1986. — С.218–226.
3. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 320 с.
4. Голицын Г.С. Климат на протяжении четырех миллиардов лет // Вест. РАН. — 1997. — Т. 67, № 2. — С.105–109.
5. Дымников В.П., Володин Е.М., Галин В.Я. и др. Чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 4. — С.77–91.

6. *Зубов О.Р., Зубова Л.Г., Славгородська Ю.В.* Оцінка впливу метеорологічних факторів на врожайність озимих культур в умовах північної частини Луганської області // Вісник Полтавської державної аграрної академії. — 2012. — № 2. — С.14–20. <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.02.02>
7. *Израэль Ю.А., Сиротенко О.Д.* Моделирование влияния климата на продуктивность сельского хозяйства России // Метеорология и гидрология. — 2003. — № 6. — С.5–17.
8. *Клименко В.В.* Холодный климат ранней субатлантической эпохи в Северном полушарии. — М.: Изд. МЭИ, 2004. — 144 с.
9. *Клименко В.В., Слепцов А.М.* Комплексная реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // Изв. РГО. — 2003. — Вып. 6. — С.45–53.
10. *Лихочвор В.В.* Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. — К.: Центр навчальної літератури, 2004. — 808 с.
11. *Маренич М.М., Варевська О.В.* Оцінка впливу агрокліматичних факторів на урожайність і можливості прогнозування валових зборів зерна пшениці озимої // Вісник Полтавської державної аграрної академії. — 2011. — № 4. — С.18–22.
12. *Мионов А.С.* Солнечное тепло и сроки посева сельскохозяйственных культур // Вісник Полтавської державної аграрної академії. — 2011. — № 3. — С.44–48.
13. *Писаренко П.В., Хлебникова Я.А.* Многолетние изменения урожайности и «волны урожайности» в полтавском регионе // Вестник Полтавской государственной аграрной академии. — 2015. — № 3. — С.32–39.
14. *Пузік Л.М., Образцова З.Г.* Особливості формування врожайності кабачка залежно від кліматичних умов // Вісник Полтавської державної аграрної академії. — 2012. — № 1. — С.30–32. <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.01.07>
15. *Сарварі М., Борос Б.* Вплив зміни клімату на вирощування зернових культур // Агроекологічний журнал. — 2010. — № 2. — С.53–58.
16. *Свисюк И.В., Русеева З.М.* Погода и урожай зерновых культур. — Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1980. — 143 с.
17. *Сиротенко О.Д., Романенков В.А., Грингоф И.Г.* Оценки влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации // Метеорология и гидрология. — 2006. — № 8. — С.92–101.
18. *Ягодинский В.Н.* Александр Леонидович Чижевский. — М.: Наука, 1987. — 320 с.
19. *Barabash M.B., Korzh T.V., Tatarchuk O.G.* Study of changes and variations of precipitations on the boundary of the XX and XXI centuries under conditions of the global climate warming // Nauk. Pratsi UkrNDGMI — Sci. Works of UKRHMI. — 2004. — No. 253. — P.92–102.
20. *Четыркин Е.М.* Статистические методы прогнозирования. — М.: Статистика, 1977. — 200 с.
21. *Eddy J.A.* The Maunder Minimum // Science. — 1976. — Vol. 192, No. 4245. — P.1189–1202. <https://doi.org/10.1126/science.192.4245.1189>
22. *Fouquart Y., Bonnel B., Ramaswamy V.* Intercomparing shortwave radiation codes for climate studies // J. Geophys. Res. — 1991. — Vol. 96. — P.8955–8968. <https://doi.org/10.1029/90jd00290>
23. *Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F.* Monitoring and prediction of natural disasters // II Nuovo Cimento C. — 2006. — Vol. 27. — No. 6. — P.657.
24. *Loomis R.S., Connor D.J.* Crop Ecology: Productivity and management in agricultural system. — Cambridge University Press, 2002. — 300 p. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511974199>
25. *McCormac B.M., Seliga T.A., Reidel D.* Solar-terrestrial influences on weather and climate. — Dordrecht, Holland, 1979. — 346 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-9428-7>
26. *Popytchenko L.M.* The weatherclimatic conditions of the vegetation of winter wheat in the Lugans'k region // In: Collection of Scientific Works of Lugans'k National Agrarian University, Series "Agricultural Sciences". — 2009. — No. 100. — P.121–124.
27. *Shliakhetska Ya.O., Vidmachenko A.P.* Changes in the Activity of the Hemispheres of Jupiter in 2016–2017 Again Became Close to Periodic // 49th Lunar and Planetary Science Conference 19–23 March, 2018, LPICo. 2083, id.1079.
28. *Varlet-Grancher C., Bonhomme R., Sinoquet H.* Crop structure and light microclimate. — 1993. — 518 p.
29. *Vid'machenko A.P., Morozhenko A.V., Yatskiv Ya.S.* An overview of major factors that define global changes of the Earth climate // Earth Systems Change over Eastern Europe. — К.: Akadempriodyka, 2012. — P.190–239.
30. *Vidmachenko A.P.* Research of the Mars by space vehicles // Astronomical School's Report. — 2009. — Vol. 6, No. 2. — P.131–137. <https://doi.org/10.18372/2411-6602.06.2131>
31. *Vidmachenko A.P.* Influence of solar activity on seasonal variations of methane absorption in the atmosphere of Saturn // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2015. — Vol. 31, No. 3. — P.131–140. <https://doi.org/10.3103/s088459131503006x>
32. *Vidmachenko A.P.* Solar activity influence on seasonal changes in Saturn's atmosphere // 446th Lunar and Planetary Science Conference, LPI Co. 1832. — 2015. — P.1052.
33. *Vidmachenko A.P.* Influence of Solar Activity on the Brightness Factor of Photometric Activity of Jupiter's Hemispheres // 47th Lunar and Planetary Science Conference, LPI Co. 1903. — 2016. — P.1092.



34. *Vidmachenko A.P.* Periodic changes in the activity of Jupiter's hemispheres // 47th Lunar and Planetary Science Conference, LPI Co. 1903. — 2016. — P.1091.
35. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes on Jupiter. I. The factor activity of hemispheres // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2016. — Vol. 32, No. 4. — P.189–195. <https://doi.org/10.3103/s0884591316040073>
36. *Vidmachenko A.P.* Seasonal Changes on Jupiter: 2. Influence of the Planet Exposure to the Sun // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2016. — Vol. 32, No. 6. — P.283–293. <https://doi.org/10.3103/s0884591316060076>
37. *Vidmachenko A.P.* Changes in the activity of Jupiter's hemispheres // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2017. — Vol. 33, No. 6. — P.291–294. <https://doi.org/10.3103/s0884591317060071>
38. *Vidmachenko A.P.* About the time of radiation relaxation of the hydrogen-helium atmosphere, determined on the change in the activity factor of Jupiter's hemispheres // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2019. — Vol. 35, No. 5. — P.291–298.
39. *Vidmachenko A.P.* Seasonal Variations in the Activity Factor of Jupiter's Hemispheres Restored Their Periodicity // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2019. — Vol. 35, No. 4. — P.195–201. <https://doi.org/10.3103/s0884591319040068>
40. *Vidmachenko A.P.* The forecast of solar activity in the 25th and 26th cycles using Excel 2016 // Astronomical School's Report. — 2019. — Vol. 15, No. 1. — P. 1–6. <https://doi.org/10.18372/2411-6602.15.01>
41. *Vidmachenko A.P., Steklov A. F., Minyailo N.F.* Seasonal activity on Jupiter // Soviet Astronomy Letters. — 1984. — Vol. 10. — P.289–290.
42. <http://www.sidc.be/silso/datafiles>

### Кореляція врожаю зернових зі змінами індексу сонячної активності

*Відьмаченко А.П.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Головна астрономічна обсерваторія НАН України, 03143, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 27

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів та природокористування України, 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15

Перетворена на поверхні Землі в тепло енергія Сонця є головною складовою при формуванні земного клімату. Тому кліматичні процеси істотно залежать від зміни індексу сонячної активності (СА). Це може стати основою для прогнозів урожайності сільськогосподарських культур. Часовий ряд даних про врожайність зернових культур ми розглядали як накладення довгострокового тренду, декількох циклічних складових і випадкової компоненти. Дані між точками на часовій шкалі для індексу сонячної активності  $S_n$  узгоджені з місячними і для врожайності — з річними інтервалами. Динаміка змін кривих врожайності має хвилювий характер. Згладжені за 47-річний період досліджень криві врожайності виділили загальний тренд. На його тлі спектральним аналізом виявлено короткі хвилі врожайності з періодами в 2–3 роки і амплітудами для різних культур від 3–5 до 20–25 ц/га. Значення врожаю сильніше всього залежать від величини індексів СА в місяці посіву зернових, виходу в трубу і дозрівання. Результати виконаних розрахунків показують, що високі значення коефіцієнтів кореляції досягаються при порівнянні ходу врожайності вибраних зернових культур не з 11-річним, а з 22-річним Хейлівським магнітним циклом сонячної активності. Після його врахування, спектральний аналіз отриманих рядів з достовірністю 90% вказав на існування квазіперіодичних складових зі значенням періоду близько  $2,134 \pm 0,062$  року. Пошук можливих періодичних процесів у Сонячній системі, які могли б стати причиною зміни врожайності з таким значенням періоду, показав, що таку ж періодичність має гравітаційна взаємодія планет при протистоянні Землі і Марса. Аналіз наведених в роботі даних показує, що максимальні врожаї бувають в роки, коли на відстані менше 0,55 а.о. протистояння планет відбувалися навесні і влітку в моменти основної вегетації аналізованих зернових культур.

**Ключові слова:** прогноз врожайності; сонячно-атмосферні зв'язки; сонячна активність.

### Correlation of yield of grain crops with changes in the index of solar activity

*Vidmachenko A.P.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>The Main astronomical observatory of the NAS of Ukraine, 03143, Academician Zabolotny str., 27, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 03041, Heroyiv Oborony st., 15, Kyiv, Ukraine

The energy of the Sun transformed on the Earth's surface into heat is the main component in the formation of the Earth's climate. Therefore, climate processes significantly depend on changes in the solar activity index (CA). This can be the basis for projections of crop yields. We considered the time series of data on the yield of grain crops as the imposition of a long-term trend, several cyclical components and a random component. The data between points on the time scale for the index of solar activity  $S_n$  is consistent with the monthly, and for yield, with annual intervals. The dynamics of changes in yield curves of grain crops has a wave character. The grain yield curves smoothed over a 47-year study period highlighted a general trend. Spectral analysis revealed short waves of changes in grain yield with periods of 2–3 years and with amplitudes for different crops from 0.3–0.5 to 2–2.5 tons/hectare. The values of the harvest depend most of all on the values of the CA indices in the months of sowing grain, going out into the pipe and ripening. The results of the calculations show that high values of the correlation coefficients are achieved by comparing the course of the yield of selected grain crops not with the 11-year, but with the 22-year magnetic cycle of Hale's solar activity. After subtracting it, spectral analysis with a confidence of 90% indicated the existence of quasi-periodic components with a period value of about  $2.134 \pm 0.062$  years. The search for possible periodic processes in the Solar System, which could cause a change in yields with a marked period value, showed that the gravitational interaction of the planets has the same periodicity at opposition of Earth and Mars. Analysis of the data presented in the work shows that the maximum yields were in those years when at distances less than 0.55 AU. the planets were in opposition in spring and summer during the main growing season of the analyzed crops.

**Keywords:** yield forecast; solar-atmospheric communications; solar activity.

Надійшла до редакції / Received 12.08.2019  
Прийнята до друку / Accepted 24.08.2019