

Физические воздействия и урожайность

УДК 633.11:631.559:57.043

doi: 10.15389/agrobiology.2016.3.351rus

ГЕЛИООБУСЛОВЛЕННЫЕ ФЛУКТУАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ (*Triticum L.*, 1753)

И.Ю. САВИН^{1, 2}, О. ЛЕО³

В свете последних научных достижений та большая роль, которую играют геомагнитные процессы в разнообразных явлениях на Земле (в ее атмосфере, биосфере и социальной сфере) становится все более очевидной. В настоящее время известно, что изменение геомагнитного поля во времени во многом предопределяется внутрипланетарными процессами, вращением Земли, а также флуктуациями солнечной активности. В связи с этим данные о явлениях на Солнце и об изменениях в магнитном поле Земли стали широко использоваться в различных областях науки и техники и при решении многих прикладных задач. В огромном числе научных публикаций продемонстрировано воздействие искусственных магнитных полей на культуру. Однако влияние флуктуаций естественного магнитного поля Земли, обусловленных влиянием Солнца, на урожайность сельскохозяйственных растений до сих пор практически не изучено. Мы впервые оценили степень корреляции между гелиообусловленными флуктуациями магнитного поля Земли и урожайностью пшеницы для стран мира, где она возделывается. В качестве объекта анализа была выбрана статистическая урожайность этой культуры, поскольку ее ареал позволяет включить в анализ регионы с различными природными и агротехническими условиями. Фактическая информация об урожайности пшеницы была получена из статистической базы данных FAOSTAT (FAO, Food and Agriculture Organization, FAO (<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>)). Индекс K_p использовался как индикатор глобальной геомагнитной активности. Величины K_p индекса были осреднены по календарным дням, месяцам и годам. Среднюю величину индекса округляли до наиболее близкого к ней стандартного значения K_p . Среднемесячные величины K_p использовались для вычисления осредненных значений индекса для периода роста пшеницы. Нами установлено наличие статистически достоверной корреляции между межгодовыми изменениями в урожайности пшеницы и гелиообусловленными изменениями магнитного поля Земли. Величина коэффициента корреляции в некоторых странах достигает достаточно высоких значений. Наиболее высокие коэффициенты положительной корреляции установлены для Бельгии ($r = 0,7$), Кении, Мали и Северной Кореи (для каждой из этих стран $r = 0,6$). Отрицательная взаимосвязь наиболее сильно проявляется для России ($r = -0,8$), Украины, Молдовы, Узбекистана и Боливии ($r = -0,7$). Специфика проявлений корреляции в разных странах мира позволяет предположить присутствие как прямого, так и опосредованного (через изменение метеорологических условий) влияния флуктуаций геомагнитного поля на урожайность культуры. При прямом воздействии наблюдаемая корреляция урожайности с индексом K_p , осредненным для сезона вегетации, должна быть выражена более четко, чем с K_p индексом, осредненным для года. Наш анализ выявил большое число стран со статистически значимой корреляцией в случае сезонного K_p индекса. При этом часто наблюдается следующая закономерность: в случае отрицательной корреляции с годовым значением K_p величина r возрастает при использовании сезонного индекса, а при положительной взаимосвязи между урожайностью и годовым индексом значение r в случае сезонного индекса уменьшается (иногда до статистически незначимых величин). Последнее может объясняться инертностью реакции атмосферных процессов на воздействие флуктуаций геомагнитной активности аналогично тому, что отмечают в отношении влияния Эль-Ниньо и Ла-Нинья на изменение температуры воздуха и количества атмосферных осадков (R. Stefanski, 1994). Более уверенное заключение о значимости прямого и опосредованного влияния может быть, по-видимому, получено при проведении подобного анализа для иных сельскохозяйственных культур, а также посредством уточнения сроков вегетации растений в каждом конкретном году и регионе произрастания.

Ключевые слова: солнечная активность, влияние Солнца на земные процессы, урожайность пшеницы, геомагнитное поле, изменчивость урожайности.

О влиянии Солнца на жизнь на Земле указывалось в работах учёных практически всех поколений с момента зарождения науки. Работы Александра Леонидовича Чижевского (1897-1964) придали этому направлению исследований огромный импульс. Нельзя не согласиться с мнением Л.В. Голованова, что «достижения А.Л. Чижевского уместно сравнить с

подвигом Николая Коперника. Подобно тому, узревшему действительное движение Земли в Космосе, он, в свою очередь, установил, что все земное пульсирует в ритме Солнца <...> А.Л. Чижевский довершил ломку геоцентризма в его последнем прибежище — в науке о жизни» (1, с. 7).

В своих работах А.Л. Чижевский неоднократно указывал на то, что влияние Солнца на земные процессы многогранно, и что под воздействием его влияния многие земные процессы изменяют свое «обычное» поведение (2). В свете последних научных достижений та большая роль, которую играют геомагнитные процессы в разнообразных явлениях на Земле (в ее атмосфере, биосфере и социальной сфере) становится все более очевидной (3-5). В настоящее время известно, что изменение геомагнитного поля во времени во многом предопределется внутрипланетарными процессами, вращением Земли, а также флюктуациями солнечной активности (6, 7). В связи с этим данные о явлениях на Солнце и об изменениях в магнитном поле Земли стали широко использоваться в различных областях науки и техники и при решении многих прикладных задач.

Влияние магнитного поля на развитие сельскохозяйственных растений изучается уже в течение длительного времени. Так, без труда можно обнаружить огромное число научных публикаций, в которых продемонстрировано положительное воздействие искусственных магнитных полей на культуры (4, 8-16). Эффект проявляется практически на всех этапах развития растений (17, 18). Отмечается также, что магнитные поля воздействуют на разные органы растений (19).

В то же время влияние гелиообусловленных флюктуаций естественного магнитного поля Земли на урожайность сельскохозяйственных растений до сих пор практически не изучено.

В наших исследованиях была сделана попытка оценить корреляцию между гелиообусловленными флюктуациями магнитного поля Земли и урожайностью пшеницы для стран мира, где эта культура возделывается.

Методика. Объектом анализа служили данные о фактической урожайности пшеницы по странам за период с 1961 по 2005 год, представленные в статистической базе FAOSTAT (ФАО, Food and Agriculture Organization, FAO) (20). На основании предварительной оценки качества этих данных страны разделили на группы. В I группу были отнесены страны, где посевы пшеницы практически отсутствуют или качество данных вызывает сомнение (подозрения в низком качестве данных основаны, как правило, на наличии слишком больших перепадов в урожайности по годам или на одинаковой урожайности, фиксируемой в течение нескольких следующих друг за другом лет). Во II группу включили страны, где статистические данные визуально выглядят надежно для всего периода анализа (визуально определенная надежность данных не исключает вероятности их ошибок). В III группу объединили страны, для которых имеются визуально надежные статистические данные лишь за последние 15 лет. Кроме того, в отдельную (IV) группу вошли страны, где яровая и озимая пшеница возделывается в течение двух сезонов вегетации одновременно (в статистической базе данных ФАО данные по урожайности пшеницы для этих стран приведены без разделения на озимую и яровую).

Качество статистической информации учитывали при анализе корреляции между гелиообусловленными флюктуациями магнитного поля Земли и урожайностью пшеницы. Также во внимание принимался вегетационный период возделывания культуры в разных странах, который определяли с использованием осредненных данных ФАО (20).

Величины K_p индекса для периода нашего исследования были

получены с сайта Национального геофизического центра данных США (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/INDICES/). Величины K_p индекса осреднялись для отдельных дней, месяцев и лет. Средняя величина индекса была округлена до наиболее близкого к ней стандартного значения индекса. Среднемесячные величины K_p использовались для вычисления осредненных значений индекса для периода роста пшеницы.

Вся исходная информация (значения индекса и данные об урожайности пшеницы) сначала преобразовывали в ряды разности данных (для данных каждого года вычислялась разность с предыдущим годом). Затем эти ряды трансформировали в ряды знаков разности. Таким образом, каждый ряд данных в конце преобразования содержал лишь значение «-1», «0» или «1». Подобные преобразования были проведены для выявления лишь наиболее общих закономерностей и одновременно для сглаживания влияния ошибок в статистических данных на результаты исследований.

В качестве метода оценки связи между урожайностью и геомагнитной активностью использовался непараметрический корреляционный анализ на основе общепринятых подходов Кендаля (τ_{ub}) и Спирмена (ρ). Во внимание принимались лишь величины коэффициента корреляции, значимые на уровне 0,005 и 0,001.

Результаты. Нерегулярные вариации магнитного поля Земли создаются изменениями внутри магнитосферы при воздействии на нее потока солнечной плазмы, а также взаимодействием магнитосферы и ионосферы Земли. Для характеристики подобных вариаций магнитного поля обычно используются индексы геомагнитной активности. В разные исторические периоды предлагалось несколько десятков индексов солнечной и геомагнитной активности, характеризующих ее различные аспекты. В нашем исследовании индикатором глобальной геомагнитной активности служил индекс K_p . Он был предложен более 60 лет назад и широко использовался в ионосферных и магнитосферных экспериментах (6, 21, 22). K_p представляет собой планетарное осреднение K -индексов, которые, в свою очередь, вычисляются по данным конкретной наземной обсерватории за 3-часовой интервал. Индекс представляет собой значения от 0 до 9 для каждого 3-часового интервала. Для вычисления индекса берется значение магнитного поля за 3 ч, из него вычитается регулярная часть, определяемая по спокойным дням, а также величина, полученная по специальной таблице и специфичная для каждой станции. Планетарный K_p -индекс вычисляется как среднее значение K -индексов, определенных на 13 геомагнитных станциях, расположенных между 44° и 60° северной широты и 44° и 60° южной широты.

Выбор пшеницы в качестве объекта исследования был обусловлен тем обстоятельством, что эта культура возделывается во многих странах мира. Таким образом, в анализ могут быть вовлечены регионы, где различаются природные условия и используемые агротехнические приемы. Анализировали корреляцию между статистической урожайностью пшеницы и значениями индекса K_p , осредненными для года и для сезона вегетации.

Большое число стран характеризовалось статистически значимой корреляцией между годовыми изменениями урожайности и значениями K_p (рис. 1, А). При этом достаточно четко выделялись зоны положительной и отрицательной корреляции. Так, отрицательная корреляция наблюдалась в поясе, охватывающем территорию от восточной Европы до Индии и Бангладеш. Также коэффициент корреляции был негативен для юга Африки (Лесото) и для северной половины Тихого океана (Япония—Мексика). Максимальные отрицательные значения коэффициента корреляции отмечали для Албании ($r = -0,9$), Лесото ($r = -0,7$), Литвы, Болгарии, Турции,

России и Японии (около $r = -0,6$ у всех).

Положительная корреляция оказалась характерна почти для всех стран Африки, для Бразилии, Новой Зеландии и некоторых стран Западной Европы. Наибольшие значения положительного коэффициента корреляции были получены для Бразилии ($r = 0,7$), Алжира ($r = 0,7$), Бельгии, Замбии и Зимбабве (у всех $r = 0,6$).

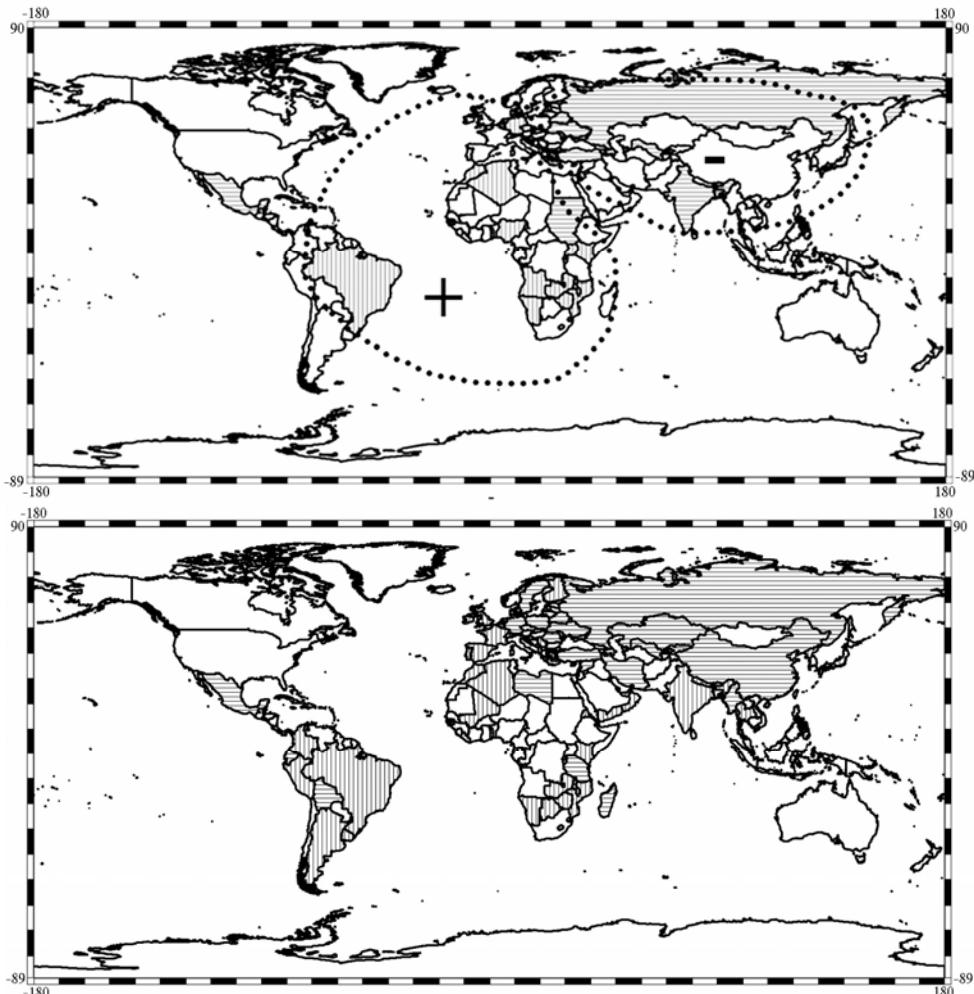


Рис. 1. Корреляция между статистической урожайностью пшеницы (*Triticum L.*) по странам (по данным FAOSTAT, 1961–2005 годы) и величиной индекса геомагнитной активности K_p , осредненного для календарного года (А) и для сезона вегетации каждого года (Б) (горизонтальная и вертикальная штриховка — соответственно отрицательная и положительная корреляция; пунктиром отмечены основные зоны корреляции).

Анализ взаимосвязи между изменениями урожайности и величиной индекса K_p , осредненной только для сезона вегетации пшеницы, демонстрировал схожее распределение (см. рис. 1, Б). Зоны положительной и отрицательной корреляции в целом сохранялись. При этом наблюдалось заметное увеличение числа стран со статистически значимой корреляцией. Наиболее высокие положительные значения были установлены для Бельгии ($r = 0,7$), Кении, Мали и Северной Кореи ($r = 0,6$ для каждой). Отрицательная взаимосвязь наиболее сильно проявляется для России ($r = -0,8$), Украины, Молдовы, Узбекистана и Боливии ($r = -0,7$ у каждой из стран).

На рисунке 2 представлено несколько примеров вариации урожайности и величины индекса K_p .

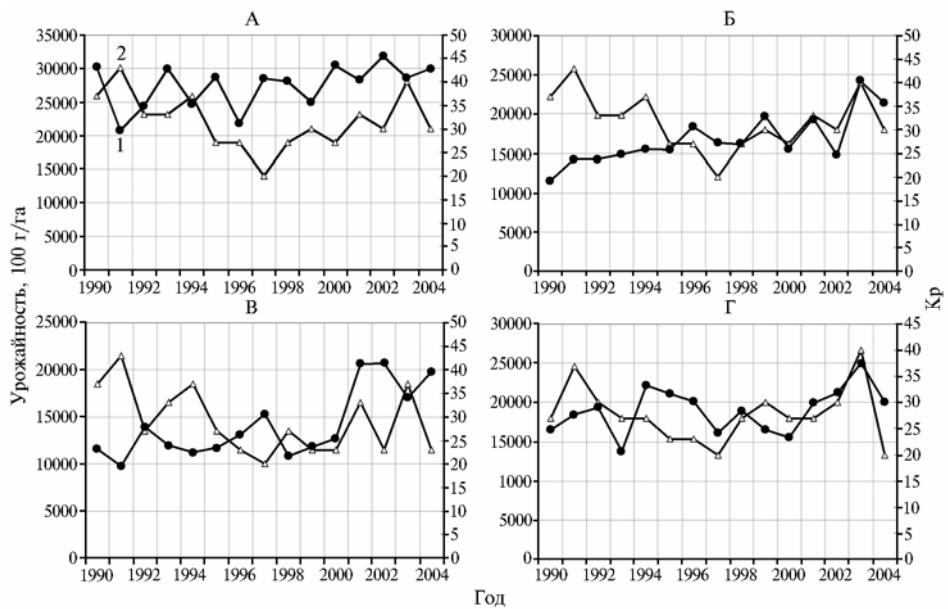


Рис. 2. Примеры временной вариации статистической урожайности пшеницы (*Triticum L.*) (1) в разных странах (по данным FAOSTAT, 1990–2004 годы) и соответствующей величины индекса геомагнитной активности K_p (2), осредненного для каждого календарного года (А, Б) или только для сезона вегетации пшеницы в каждом году (В, Г): А — Албания, Б — Бразилия, В — Кения, Г — Россия.

Необходимо отметить, что для ряда стран (например, для Новой Зеландии, Бангладеш, Судана) статистически значимая корреляция с годовым значением индекса K_p исчезала при анализе взаимосвязи с сезонным индексом. Для некоторых стран происходила смена знака коэффициента корреляции. Так, по Японии и Индии коэффициент корреляции урожайности пшеницы с годовым значением индекса K_p был отрицательным, а с сезонным — положительным. При этом обращает на себя внимание тот факт, что противоположную смену знака (от положительного годового к отрицательному сезонному) на наблюдали.

Кроме того, представляют интерес случаи более низкого значения сезонного коэффициента корреляции по сравнению с годовым. Это имело место, например, для Бразилии ($r_{\text{годовой}} = 0,7$ и $r_{\text{сезонный}} = 0,4$), Алжира ($r_{\text{годовой}} = 0,7$ и $r_{\text{сезонный}} = 0,3$), Албании ($r_{\text{годовой}} = -0,9$ и $r_{\text{сезонный}} = -0,6$) и некоторых других стран.

Дополнительно необходимо отметить, что для многих стран значение коэффициента корреляции возрастало с уменьшением длины ряда наблюдений. Во многих случаях максимальная корреляция наблюдается для периода 1990–2004 годов. Например, для Албании коэффициент корреляции (r) по 1990–2004 годам составил $-0,9$, по 1963–2004 — только $-0,3$; для Лесото величина коэффициента корреляции по 1963–2004 годам равнялась $-0,4$, а по 1990–2004 годам возрастила до $-0,7$. В некоторых случаях корреляция, которая была статистически значимой для 1990–2004 годов, становилась незначимой для периода 1963–2004 годов. И наоборот, для некоторых стран (Кипр, Намибия, Германия, Швейцария) величина коэффициента корреляции для 1963–2004 годов оказалась выше, чем для периода 1990–2004 годов.

Наличие большого числа стран со статистически значимой корреляцией между геомагнитным индексом и урожайностью пшеницы свидетельствует о влиянии флюктуаций глобального геомагнитного поля на про-

дуктивность этой культуры. Потенциально подобный эффект может быть следствием как прямого, так и опосредованного влияния (через воздействие на метеорологические условия) на рост растения.

Наличие стран с отсутствием значимой корреляции можно частично объяснить недостоверностью статистических данных. В некоторых странах пшеница возделывается в течение двух сезонов в году, а статистические данные в базе данных ФАО представлены в обобщенном виде, что тоже способно повлиять на результат исследований. В отдельных случаях факт отсутствия корреляции представляется следствием того, что на урожайность пшеницы оказывают наиболее значительное влияние не метеорологические условия, а иные факторы (например, количество вносимых удобрений или несоблюдение агротехники возделывания культуры). Кроме того, использованный показатель геомагнитного поля Земли — хороший индикатор временного, но не пространственного варьирования. Теоретически временное варьирование может по-разному проявляться в регионах с низким или высоким геомагнитным фоном, что также способно повлиять на появление или отсутствие анализируемой зависимости.

Воздействие колебаний геомагнитного поля на функционирование барических атмосферных образований исследовалось многими авторами (5, 23-26). Результаты более ранних работ упоминаются в публикациях А.Л. Чижевского (2). Авторы делают вывод, что повышенная магнитная активность приводит к углублению циклонов, особенно в зимний (холодный) период. Кроме того, ими выдвигается гипотеза о том, что усиление магнитного поля Земли приводит к увеличению контрастности между атмосферными барическими образованиями — к углублению циклонов и усилинию антициклонов.

Этими результатами может объясняться наличие регионов с положительной и отрицательной корреляцией между индексом K_p и урожайностью пшеницы. Анализ периода возделывания пшеницы в разных странах показывает, что за некоторым исключением в большинстве стран пшеницу выращивают в зимние месяцы. Углубление циклонов в годы с повышенным магнитным полем должно выражаться в увеличении количества атмосферных осадков, а это, в свою очередь, — приводить к росту урожайности пшеницы и, соответственно, к появлению положительной корреляции между этим показателем и величиной индекса K_p . В пределах основного пояса отрицательной корреляции метеорологические условия в зимнее время определяются господством антициклонов (так называемый Сибирский максимум). Усиление антициклонов в указанном регионе может приводить к уменьшению количества осадков, толщины снежного покрова и к понижению температуры воздуха. Все это создает более неблагоприятные условия в период зимнего покоя и начала активной вегетации пшеницы весной, снижающие ее урожайность. Таким образом могут появляться регионы с отрицательной корреляцией между урожайностью пшеницы и индексом K_p .

При прямом воздействии флуктуаций геомагнитного поля на рост пшеницы корреляция урожайности с индексом K_p , осредненным для сезона вегетации, должна быть выражена более четко, чем корреляция с K_p индексом, осредненным для года. Анализ полученных нами данных показывает возрастание числа стран со статистически значимой корреляцией в случае сезонного K_p индекса. Однако при этом наблюдается следующая закономерность: во многих странах, где с использованием годового значения K_p индекса была установлена отрицательная корреляция, в варианте с сезонным индексом величина r увеличивалась, тогда как при положитель-

ной взаимосвязи урожайности с годовым индексом в случае сезонного индекса значение r уменьшалось (иногда до статистически незначимых величин). Последнее вполне может быть объяснено инертностью реакции атмосферных процессов на воздействие флуктуаций геомагнитной активности. То есть влияние повышенного геомагнитного фона в течение одного периода года могут отразиться на характере атмосферных процессов в другой период. Аналогичный эффект отмечается, например, при анализе воздействия Эль-Ниньо и Ла-Нинья на изменение температуры воздуха и количества атмосферных осадков (27).

Таким образом, установлено наличие корреляции между изменениями урожайности пшеницы и гелиообусловленными изменениями магнитного поля Земли. Несмотря на наличие большого числа факторов, предопределяющих урожайность культуры, величина коэффициента корреляции в некоторых странах достигает достаточно высоких значений. Специфика проявлений корреляции в разных странах мира позволяет предположить присутствие как прямого, так и опосредованного (через изменение метеорологических условий) влияния флуктуаций геомагнитного поля на урожайность пшеницы. Более уверенное заключение о значимости прямого и опосредованного влияния может быть, по-видимому, получено после проведения подобного анализа для иных сельскохозяйственных культур, а также при уточнении сроков вегетации растений в каждом конкретном году и регионе произрастания.

ЛИТЕРАТУРА

- Голованов Л.В. Космический детерминизм Чижевского (предисловие к кн.: Чижевский А.Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия). М., 1995: 5-29.
- Чижевский А.Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия. М., 1995.
- Courtillot V., Le Mouel J., Ducruix J., Cazenave A. Geomagnetic secular variation as a precursor of climate change. *Nature*, 1982, 297: 386-387 (doi: 10.1038/297386a0).
- Minorsky P.V. Do geomagnetic variations affect plant function? *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2007, 69(14): 1770-1774 (doi: 10.1016/j.jastp.2006.12.004).
- Lockwood M., Foster S. Long-term variation in the magnetic fields of the sun and possible implication for terrestrial climate. *Proc. 1st Solar and Space Weather Euroconference* (Spain, September 25-29, 2000). Tenerife, 2000: 85-94.
- Mayaud P.N. Derivation, meaning and use of geomagnetic indices. *Geophysical Monograph* V. 22. Am. Geophys. Union, Washington, D.C., 1980 (doi: 10.1002/9781118663837.fmatter).
- Georgieva K., Kirov B., Javagaiyah J. Solar asymmetry and Sun-Earth connection. *Proc. ISCS 2003 Symposium* (Slovakia, 2003, 23-28 June). Bratislava, 2003: 323-328.
- Серегина М.Т., Павлова Н.А., Алимова З.И. Биологическое действие магнитного поля на рост, развитие и продуктивность растений озимых зерновых культур. Электронная обработка материалов, 1991, 1: 67-71.
- Вербическая С.В. Предпосевная обработка семян фасоли озоном и магнитным полем. Автореф. канд. дис. Зерноград, 2001. Режим доступа: <http://www.dissertat.com/content/predposevnaya-obrabotka-semyan-fasoli-ozonom-i-magnitnym-polem#ixzz4Biv4F0j5>. Дата обращения: 20.01.2016.
- Lednev V.V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. *Bioelectromagnetics*, 1991, 12(2): 71-75.
- Pietruszewski S.T. Effect of magnetic seed treatment on yields of wheat. *Seed Sci. Technol.*, 1993, 21(4): 621-626.
- Phirke P.S., Kubde A.B., Umbarkar S.P. The influence of magnetic field on plant growth. *Seed Sci. Technol.*, 1996, 24(2): 375-392.
- Pittman U.J. Effect of magnetic treatment on yield of barley, wheat and oats in Southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.*, 1977, 57: 37-45.
- Ruzić R., Berden M., Jerman I. The effects of oscillating electromagnetic fields on plants. *Proc. First World Congress on the Bioeffects of Electricity and Magnetism on the Natural World* (UK, 1-6 October, 1998). Madeira, 1998: 58-63.
- Carboneill M.V., Martinez E., Amay J.M. Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiol.*, 1995, 109(3): 1111-1116.

- sativa* L.) by a static magnetic field. Electromagnetic Biology and Medicine, 2000, 19(2): 121-128.
16. Аксенов С.И., Булычев А.А., Грунина Т.Ю., Туровецкий В.Б. Влияние низкочастотного магнитного поля на активность эстераз и изменение pH у зародыша в ходе набухания семян пшеницы. Биофизика, 2000, 45: 737-745.
 17. Maffei M.E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Front. Plant Sci.*, 2014, 5: 445 (doi: 10.3389/fpls.2014.00445).
 18. Payez A., Ghanati F., Behmanesh M., Abdolmaleki P., Hajnorouzi A., Rabbabi E. Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and a 10-KHz electromagnetic field. *Electromagn. Biol. Med.*, 2013, 32(4): 417-429 (doi: 10.3109/15368378.2012.735625).
 19. Alemany E.I., M bogholi A., Boix Y.F., Gonzalez-Oñeddo J., Chalfun A. Effects of EMFs on some biological parameters in coffee plants (*Coffea arabica* L.) obtained by in vitro propagation. *Polish J. Environ.*, 2014, Stud. 23: 95-101.
 20. Rochalska M. The influence of low frequency magnetic field upon cultivable plant physiology. *Nukleonika*, 2008, 53: 17-20.
 21. FAOSTAT, 2006. Режим доступа: <http://faostat.fao.org/>. Без даты.
 22. Bartels J. The standardized index, Ks, and the planetary index, Kp. *IATME Bull. Int. Union of Geod. and Geophys. Publ. Off.*, Paris, 1949, 12b.
 23. Siebert M. Maßzahlen der erdmagnetischen Aktivität. In: *Encyclopedia of physics (Handbuch der Physik) /S. Flügge (ed.)*. V. 49/3. Springer-Verlag, 1988: 206-275.
 24. Kishchuk P.V., Dmitrieva I.V. Secular variations of solar-geomagnetic links and meteorological parameters. Proc. Conference on Modern Problems of Solar Circularity (26-30 May, Russia, 1977). St. Petersburg, 1997: 116-120.
 25. Svensmark H. Influence of cosmic rays on Earth's climate. *Phys. Rev. Lett.*, 1998, 81: 5027-5030 (doi: 10.1103/PhysRevLett.81.5027).
 26. Tinsley B.A. Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics, temperature, and dynamics in the troposphere. *Space Sci. Rev.*, 2000, 94: 231-258 (doi: 10.1023/A:1026775408875).
 27. Elsner J., Kalvakov S. Hurricane intensity changes associated with geomagnetic variation. *Atmos. Sci. Lett.*, 2001, 2(1-4): 86-93 (doi: 10.1006/asle.2001.0043).
 28. Stefanaki R. El Nino: background, mechanisms, and impacts. In: Major world crop areas and climatic profiles. Agricultural Handbook 664. USDA, Washington, D.C., 1994: 247-252.

¹ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
119017 Россия, г. Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2,
e-mail: savin_iyu@pfur.ru;

²Аграрно-технологический институт Российского
университета дружбы народов,

117198 Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8, кор. 2;

³Joint Research Centre of European Commission

(Объединенный исследовательский центр
Европейской комиссии),

Via Enrico Fermi, 2749, 21027 Ispra VA, Italy,

e-mail: olivier.leo@jrc.ec.europa.eu

Поступила в редакцию
29 января 2016 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2016, V. 51, № 3, pp. 351-359

SOLAR-CAUSED FLUCTUATIONS IN EARTH'S MAGNETIC FIELD AND STATISTICAL WHEAT (*Triticum L.*, 1753) YIELD

I.Yu. Savin^{1, 2}, O. Leo³

¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Federal Agency of Scientific Organizations, 7/2, Pyzhevskii per., Moscow, 119017 Russia, e-mail savin_iyu@pfur.ru;

²Agro-Technological Institute of Peoples' Friendship University of Russia, 8/2, ul. Miklukho-Maklaya, Moscow, 117198 Russia;

³Joint Research Centre of European Commission, Via Enrico Fermi, 2749, 21027 Ispra VA, Italy, e-mail olivier.leo@jrc.ec.europa.eu

Received January 29, 2016

doi: 10.15389/agrobiology.2016.3.351eng

Abstract

In the light of the latest scientific achievements the great role played by the geomagnetic processes in a variety of phenomena in the world (in the atmosphere, the biosphere and the social sphere) becomes more and more apparent. It is known that the temporal variation of the geomagnetic field is determined by interplanetary processes, the Earth's rotation, as well as fluctuations in solar activity. In this connection, the data on the phenomena on the Sun and changes in the Earth's magnetic field have been widely used in various fields of science and technology and in solving many

applied problems. The impact of artificial magnetic fields on the crop growth was demonstrated in the vast number of scientific publications. However, the effect of fluctuations of the natural Earth's magnetic field caused by the influence of the Sun on the crop yield is still practically unknown. The evaluation of the level of correlation was conducted between solar-caused fluctuations in Earth's magnetic field and statistical wheat yield for countries where the crop is grown. This crop is cultivated in many countries of the world, which allows to include in the analysis regions with different natural and agronomic conditions. Actual information about the wheat yield was obtained from FAO's statistical database FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>). As an indicator of the global geomagnetic activity K_p index was used. K_p index values were averaged for individual days, months, and years. The average value of the index is rounded to the closest standard value of it. Monthly average K_p values were used to calculate the average values of the index for the period of wheat growth. As a result, a statistically significant correlation between the annual change in the yield of wheat and solar-caused changes of Earth's magnetic field was found. The coefficient of correlation in some countries reaches a sufficiently high value. The highest rates of positive correlation set for Belgium ($r = 0.7$), Kenya, Mali and North Korea (at $r = 0.6$ for each country). The negative relationship is most pronounced in Russia ($r = -0.8$), Ukraine, Moldova, Uzbekistan and Bolivia ($r = -0.7$ for each). Specificity of the manifestations of the correlation around the world suggests the presence of both direct and indirect (through a change in the meteorological conditions) impact of fluctuations of the geomagnetic field on crop yield. In the case of direct impact, the observed correlation of crop yield with the K_p index averaged for the growing season, should be expressed more clearly than with K_p index, averaged for the year. Our analysis revealed more countries with a statistically significant correlation in the case of usage of seasonal K_p index. It is often observed the following situation: in the case of a negative correlation of crop yield with the annual value of the K_p value of r increases when using the seasonal K_p index, and for a positive relationship between crop yield and the annual value of the K_p index r in the case of the seasonal index decreases (sometimes up to statistically insignificant values). The latter can be explained by the inertia of the reaction of atmospheric processes on the impact of fluctuations of geomagnetic activity, which is similar to that in relation to the impact of El Niño and La Niña on changes in air temperature and precipitation (R. Stefanski, 1994). A more confident conclusion about the importance of the direct and indirect effects can be apparently obtained by carrying out a similar analysis for other crops, as well as through a more precise allocation of time during the growing season in each year and growing region.

Keywords: solar activity, solar-terrestrial linkage, wheat yield, geomagnetic field, crop yield variability.

*Адрес сайта журнала в Интернете — www.agrobiology.ru
Статьи, события, информация — 8500 просмотров за месяц
65 % — посетители из России, 11 % — из США и Канады, 24 % — из других стран*



КАРТА САЙТА

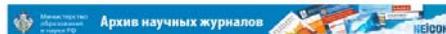
Включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (Перечень ВАК) (по агрономии и лесному хозяйству, по зоотехническим и ветеринарным специальностям, а с 2007 года — также по биологическим наукам).

Сообщаем, что...

- В целях формирования направлений, представленным рукописям произошли изменения.
 - На сайте открыт новый раздел — "Зарубежные публикации", в разделе "Анонс" нашего сайта опубликованы полнотекстовые версии статей с 2007 года.
 - В разделе "Анонс" нашего сайта опубликованы полнотекстовые версии статей с 2007 года.
 - С 2010 года на нашем сайте размещены многоязычные полнотекстовые версии основной части экспериментальных статей.
- Динамичное развитие и высокий уровень публикаций определяют интерес к изданию и его признание в научной среде. Читатели журнала — ученые не только из России и стран СНГ, но и из Бразилии, Великобритании, Германии, Испании, Китая, Швейцарии, Японии.
- С 1989 года журнал выходит двумя сериями:



От эксперимента —
к практике



Third International Conference on Integration of Science and Technology
for Sustainable Development