

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.207-210

ОПЕРЕЖАЮЩИЕ РЕАКЦИИ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ НА СОЛНЕЧНЫЕ КОРОНАЛЬНЫЕ ИНЖЕКЦИИ

П.А. Кашулин, Н.В. Калачева, Э.И. Журина

Полярно-альпийский ботанический сад-институт РАН, 184209, г. Апатиты, Россия
e-mail: falconet1@yandex.ru

Аннотация. На основе многодневного мониторинга фотосинтетической активности высших дикорастущих и оранжерейных растений методами измерения импульсной, амплитудно-модулированной флуоресценции хлорофилла листьев в периоды высокой солнечной активности 2017 г. обнаружена связь флуктуаций геофизических индексов и снижения переменной флуоресценции хлорофилла. Физиологические реакции растений могут опережать значительные магнитосферные возмущения Земли и резкие подъемы индексы солнечной активности на 2-3 или на 7 суток.

Введение

В условиях роста глобальной неустойчивости энергетически слабые экологические или гелиогеофизические факторы могут усилить свою вклад в биосферные процессы. Живые системы в ряде случаев способны предсказывать природные катастрофы, в основе феномена лежит высокая чувствительность их воспринимающих систем к флуктуациям солнечной активности (СА), которые с запозданием в несколько дней отзываются «солнечных эхом» в биосфере Земли. После публикации [Чижевский, 1963] в научном мире получил известность эффект Чижевского - Вельхова, обобщающий известные к тому времени данные о солнечно-земных связях и полученные ранее результаты С. Вельхова. Он экспериментально показал возможность использования живых микроорганизмов для природных, метеорологических и космогонических прогнозов. В основе прогноза лежит обнаруженная им циклическая закономерность протекания биологических значимых событий, периоды усиленного роста коринобактерий укладываются в определенные сроки с периодичностью в 1, 2, 4, 8, 16, 32 сут. Им была также обнаружена связь пигментации, питательной активности, вирулентности микроорганизмов с СА. Бактериальные пигменты меняют окраску от темно-фиолетовой до ярко-красной при росте СА, их светочувствительные системы являются прототипами пигментов высших организмов. У растений существуют различные световоспринимающие системы, которые обеспечивают их энергией и позволяют воспринимать световую информацию, они реагируют и на другие физические агенты, погодные условия, влажность, температуру, давление. Нами проведены исследования связи фотосинтетической активности растений с СА. Исследованы физиологические реакции растений, на крупномасштабные солнечные события, сопровождающиеся массовыми корональными инжекциями (СМІ) в сторону Земли, высокоэнергетическими потоками космических лучей (> 10 МэВ) и последующими магнитосферными возмущениями. Использовали индикаторные виды растений древесных форм, произрастающие в условиях открытого грунта и оранжерейные, культивируемые в тепличных условиях. Для анализа реакций растений проводили ежедневные измерения амплитудно-модулированной импульсной флуоресценции хлорофилла одних и тех же листовых пластинок, тех же растений. Измеряемые величины отражали текущую активность фотосинтетического аппарата (ФСА) и общее физиологическое состояние организма растения.

Материалы и методы

Физиологическую активность ФСА определяли, измеряя собственную или искусственно активированную светодиодами импульсно-модулированную флуоресценцию хлорофилла *in situ*. Анализировали её долю $Y(II)$, контролируемую фотосистемой II (ФС II). $Y(II) = Fv'/Fm'$, где $Fv' = Fm' - Fo'$ – переменная, Fo' – минимальная, Fm' – максимальная флуоресценция в условиях освещения. $Y(II)$ показывает долю энергии возбуждённых реакционных центров, расходованную на фотохимическую конверсию, она близка к среднему квантовому выходу фотосинтеза, зависит от световых условий и факторов среды. Использовали также нормированную переменную флуоресценцию Fv/Fm , когда эмиссию измеряли вечером, после темновой адаптации [Genty *et al.*, 1989]. Измерения проводили флуориметром РАМ-2100, «WALZ, Effetrich», ФРГ. Источником активирующего света служил светодиод, излучающий импульсы: $\lambda = 655$ нм, 3000 мкЕ/м²с⁻¹, длительностью 800 мс. Интенсивность измеряющего света с частотой 0,6 кГц или 20 кГц не превышала 5 мкЕ/м²с⁻¹. Неинвазивные измерения обеспечивали поток информации о текущем состоянии ФСА растений.

Использовали данные для магнитосферной активности открытого доступа NOAA/SWPC Boulder, CO (США) [www.swpc.noaa.gov].

Результаты и обсуждение

В процессе мониторинга были обнаружены периодические изменения активности ФСА растений с такими же периодами или обертонами, кратными двум суткам, с которыми менялась динамика роста бактерий у Вельховера, рис. 1. Показана периодограмма динамики собственной, темновой флуоресценции листьев пуансеттии зимой 2018 г. В частотном спектре выделяются периоды, кратные двум суткам в первой, второй, третьей и четвертой степенях. Это указывает на возможное существование внешних датчиков ритмов оказывающих сходное влияние на собственные короткодневные ритмы разных живых систем. Вместе с тем, разным биологическим видам присущи около недельные и полунедельные ритмы физиологической активности, которые обусловлены секторной структурой межпланетного магнитного поля [Бреус, Конрадов, 2002]. Возможной причиной различий периодов двух типов ритмической активности коринобактерий или ФСА высших растений являются комбинационные частоты, обусловленные наложением суточного ритма на короткодневные. В результате в частотных спектрах могут появляться ритмы с периодами кратные двум [Кашулин и др., 2017а]. Периодограмма, представленная на рис. 1 была получена на основе ежедневных измерений собственной флуоресценции растения *Euphorbia pulcherrima* "Freedom" в темное время года, когда различие дневной и ночной освещенностей было максимально.



Рисунок 1. Периодограмма измерений флуоресценции листьев пуансеттии зимой 2018 г.

Аналогичные измерения в светлое время года показали наличие ритмов кратных неделе у разных видов растений [Кашулин и др., 2017б]. Такие характеристики биоритмов ФСА указывают на их внешнюю модуляцию геокосмическими агентами. Всем сильным магнитосферным возмущениям первой половины 2017 г. предшествовали резкие снижения флуоресценции листьев наблюдаемых растений с 2-4 дневным опережением, величина которого зависела от скорости потока космических лучей. В апреле 2017 г. большим магнитным бурям 4-5 апреля и 21-23 апреля предшествовали резкие снижения флуоресценции хлорофилла 3 апреля 20 и 22 апреля, отличающиеся высокой синхронностью у разных листьев кроны. Первичной причиной, повлекшей магнитные возмущения начала апреля, была интенсивная рентгеновская вспышка 3 апреля на Солнце класса M 5,8. Отчетливую реакцию растений также регистрировали с этой даты, она была синхронизирована по листьям кроны и по кронам разных видов. Возможным физическим интермедиантом, по крайней мере, в данном случае, ответственным за быструю передачу значимого солнечного события могло быть именно рентгеновское излучение.

Вероятно, и в других случаях быстрота реакции растений определяется волновой солнечной эмиссией в каком-либо диапазоне. Май отличался спокойной геофизической обстановкой вплоть до 23 числа, когда на Солнце произошла крупная CMI, сопровождавшаяся скачком скорости солнечного ветра, 27 мая начала быстро меняться интенсивность межпланетного магнитного поля, в магнитосфере Земли началась магнитная буря, Kp = 7. Растения начали реагировать 26 мая резким падением флуоресценции. Обнаружена высокая

синхронность динамики флуоресценции между разными листьями кроны растений и кронами разных растений. Результаты измерений подтверждают представления о способности растений реагировать на геофизические события. Ответ, как правило, предшествует магнитным бурям или другим геофизическим и атмосферным откликам космических событий. Внешне, это выглядит, как способность растений выполнять функции их предвестников, хотя они отвечают преимущественно на другие физические агенты, вызывающие вторичные наземные и околоземные процессы. Различные виды волнового излучения быстро достигают Земли в отличие от корпускулярных потоков, которым может потребоваться 4-5 суток [Дубов, Хромова, 1992]. Максимальное время опережения реакции растений на солнечные события, были зарегистрированы в июле, августе и сентябре у растений открытого грунта, оно не превышало семи суток, его наблюдали для параметров Fo и Fm, рис. 2 и 3.

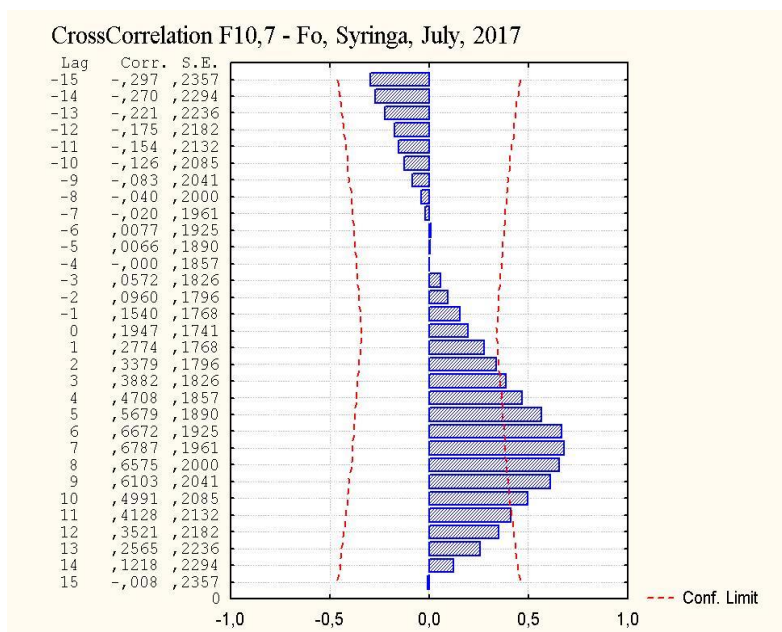


Рисунок 2. Связь реакции сирени венгерской и радиоизлучения на длине волны 10,7 см

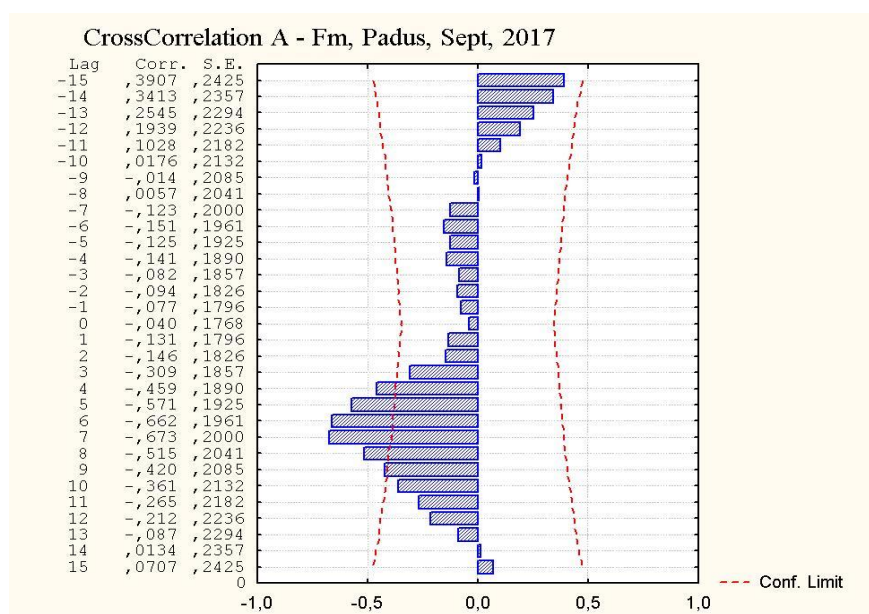


Рисунок 3. Связь реакции черемухи и видимой суммы площади солнечных пятен

Таким образом, на основе круглогодичного мониторинга фотосинтетической активности растений обнаружена связь интенсивных СМІ и значительных рентгеновских вспышек на Солнце с резкими

снижениями эмиссии флуоресценции хлорофилла листьев. Реакция растений опережала на 1-4 дня события больших магнитосферных возмущений Земли, время опережения связано обратной зависимостью со скоростью корпускулярного излучения Солнца. Опережающая реакция *F. benjamina* и особенно лиан *P. aculeata* на радиоизлучение Солнца позволяет использовать растения этого вида в качестве предвестников высокоэнергетических гелио- и геомагнитных событий. В результате действия каких-либо промежуточных интермедиантов, опережение реакции растений геомагнитных возмущений могут варьировать в пределах несколько дней. По времени запаздывания можно оценить скорость солнечного ветра, инициированного теми или иными нестационарными процессами на Солнце.

Местные дикорастущие экотипы черемухи *Padus avium*, березы *Betula pendula*, ивы *Salix caprea* и интродуценты *Syringa josicaea*, могут быть «предвестниками» сильных магнитосферных возмущений, реагируя на них посредством временной перестройки работы фотосинтетического аппарата и структуры собственных биоритмов. Крупнейшим природным катастрофам 2017 года в Карибском заливе Атлантического океана, тайфунам, настигшие североамериканский континент в это время, предшествовали резкие флуктуации фотосинтетических показателей наблюдаемых растений. Растения реагировали на начальные стадии этих природных процессов на Солнце, за несколько дней до наземных последствий.

Литература

- Чижевский А.Л. Некоторые микроорганизмы как индикаторы солнечной активности и предвестники солнечных вспышек // Авиационная и космическая медицина. М., 1963. С. 76-89.
- Genty B., Briantais J-M., Raker N.R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence // Biochim. Biophys. Acta. 1989. V. 990. P. 87-92.
- Бреус Т.К., Конрадов А.А. Эффекты биоритмов солнечной активности // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. - М.: Янус-К, 2002. С. 516-525.
- Кашулин П.А., Калачева Н.В., Смирнова М.В. (а) Комбинационные частоты солнечной активности и короткодневные периоды фотосинтеза // III Міжнародна конференція «Інноваційні підходи і сучасна наука» Київ, 31 березня 2017. К.: Центр наукових публікацій, 2017. С. 11-20.
- Кашулин П.А., Калачева Н.В., Журина Э.И. (б) Лиственные деревья как индикаторы солнечной активности // XXV Международная конференция «Развитие науки в XXI веке». Научно-информационный центр «Знание», Харьков, 2017. С. 23-32.
- Дубов Э.Е., Хромова Т.П. Индексы солнечной и геомагнитной активности // Биофизика. Т. 37, вып. 4. 1992. С. 785-804.