

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.246-249

БИОРИТМЫ СЕВЕРНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА СПАДАЮЩЕЙ ФАЗЕ ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

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

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

Аннотация. На основе многодневного мониторинга температуры, освещенности, УФ радиации и фотосинтетической активности лесообразующих дикорастущих и интродуцированных растений древесных форм *Salix caprea*, *Populus tremula*, *Betula pendula* Roth, *Lonicera tatarica*, *Syringa josikaea* методами измерения импульсной, амплитудно-модулированной флуоресценции хлорофилла листьев с помощью PAM-2100, «WALZ, Effetrich» в годы спадающей и низкой солнечной активности 2014-2019 гг. обнаружена связь характеристик динамики метеофакторов, флуоресценции хлорофилла и солнечной активности. По мере снижения солнечной активности с 2016 г. наблюдали снижение хаотичности и отчетливое появление цикличности, септанных и семисептанных циклов, а также циклов с продолжительностью около месяца в спектрах мощности многодневной динамики фотосинтетических характеристик наблюдаемых видов. Появление устойчивой цикличности метеофакторов и фотосинтеза может быть обусловлено рекуррентной активностью геокосмических возмущений.

Введение. Современная динамика продуктивности природных экосистем и их устойчивость контролируются влиянием традиционных факторов среды и усиливающимся антропогенным прессом. Многолетние мониторинговые наблюдения фотосинтетической, физиологической активности индикаторных древесных форм некоторых левообразующих видов, а также метеофакторов, проводимые в ПАБСИ, позволяют оценить отклик наземных экосистем на ослабление солнечной активности (СА) и оценить вклад глобальных биосферных изменений в условиях Кольской субарктики. Одним из отчетливых признаков таких изменений является рост глобальной неустойчивости тропосферной и океанической динамики, на этом фоне энергетически слабые экологические или гелиогеофизические факторы могут усилить свой вклад в биосферные процессы.

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. Ранее нами были исследованы связи фотосинтетической активности растений с СА и их реакции на крупномасштабные солнечные события, сопровождающиеся массовыми корональными инжекциями в сторону Земли, высокоэнергетическими потоками космических лучей и последующими магнитосферными возмущениями [Кашулин и др., 2017].

В данной работе представлены некоторые результаты мониторинга физиологического состояния индикаторных деревьев лесопарковой зоны центральной части Кольского севера в условиях спадающей и низкой СА. Использовали индикаторные виды растений древесных форм. 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 и общее физиологическое состояние организма растения.

Материалы и методы. В качестве объектов наблюдения использовали местные дикорастущие экотипы осины *Populus tremula* L., берёзы *Betula pendula* Roth., черемухи *Padus avium*, ивы *Salix caprea* и кустарниковые формы интродуцентов жимолости татарской *Lonicera tatarica*, смородины *Ribes nigrum*, и сирени венгерской *Syringa josikaea*. 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, расходуемую на фотохимическую конверсию, она отражает средний квантовый выход фотосинтеза, завися от световых условий и факторов среды. Использовали также параметр Fv/Fm , когда эмиссию измеряли вечером, после темновой адаптации [Genty et al., 1989]. Измерения проводили флуориметром PAM-2100, «WALZ, Effetrich», ФРГ. Источником активирующего света служил светодиод, излучающий импульсы: $\lambda = 655$ нм, 3000 мкЕ/м² · с⁻¹, длительностью 800 мс. Интенсивность измеряющего света с частотой 0,6 кГц или 20 кГц не превышала 5 мкЕ/м² · с⁻¹.

Неинвазивные измерения *in situ* обеспечивали поток информации о текущем состоянии ФСА растений. Одновременно РАМ-2100 обеспечивал измерение температуры и ФАР непосредственно на листовой пластике. Температуру воздуха, освещенность и УФ радиацию измеряли ежедневное отечественным прибором «ТКА-ПКМ».

Результаты и обсуждение. Изменение температуры в разные месяцы вегетации растений и в разные годы цикла, отражая в целом уровень СА, указывает на расхождение с монотонной динамикой убывания СА в 2018 году, одной из причин которого может быть глобальное потепление планеты, рис. 1.

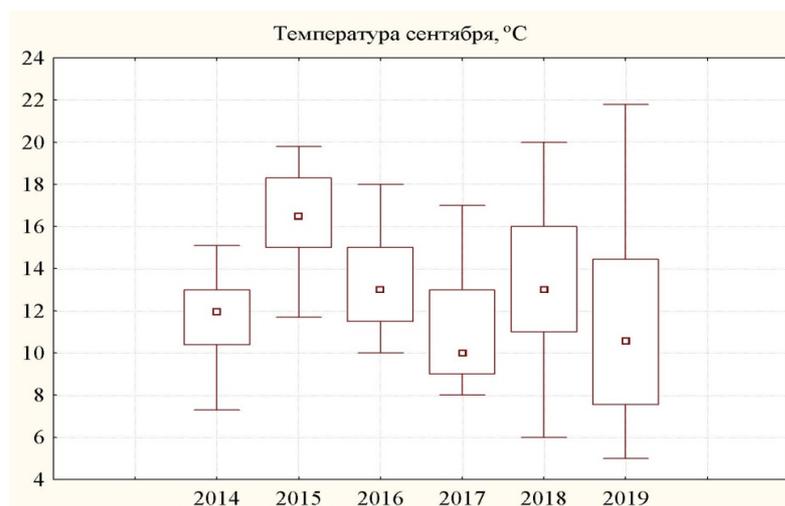


Рисунок 1. Многолетняя динамика средней температуры воздуха в сентябре в регионе наблюдений.

В то же время помесечные измерения освещенности и УФ радиации разных лет не выявили прямой связи этих величин с СА. Однако, начиная с сентября 2017 года, наблюдали рост сильных флуктуаций освещенности и УФ радиации, которые носили квазипериодический характер, на рис. 2 они представлены для ежедневных измерений ультрафиолета в сентябре за разные годы. Спектральный анализ выявил абсолютное превалирование септанного - около 7-ми дневного ритма в уровне солнечной УФ радиации и освещенности в 2019 году, тогда как в 2016 году превалировал семисептанный ритм, с продолжительностью периода около половины недели. В 2014 году цикличность этих показателей была не выражена и в целом была хаотична.

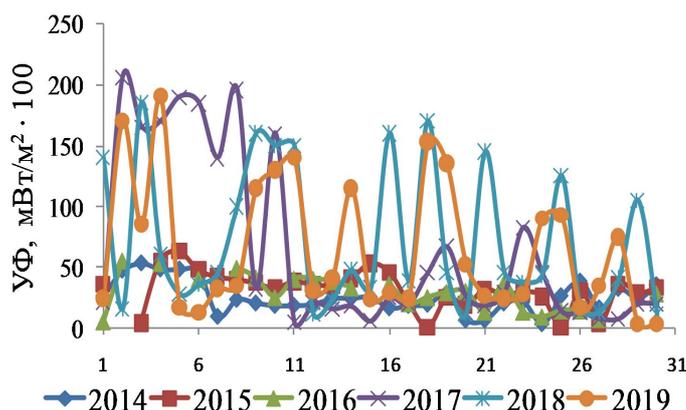


Рисунок 2. Ежесуточная динамика УФ радиации сентября в разные годы в г. Апатиты.

Качественно схожую картину наблюдали и для многодневной динамики физиологической активности наблюдаемых растений в разные годы. В 2017-2019 гг. фотосинтетическая активность всех наблюдаемых видов деревьев и кустарников носила циклический характер, в спектрах мощности сезонных рядов наблюдений флуоресцентных параметров хлорофилла листьев всегда присутствовали септанные ритмы и менее выраженные семисептанны, а также около месячные ритмы рис. 3,4.

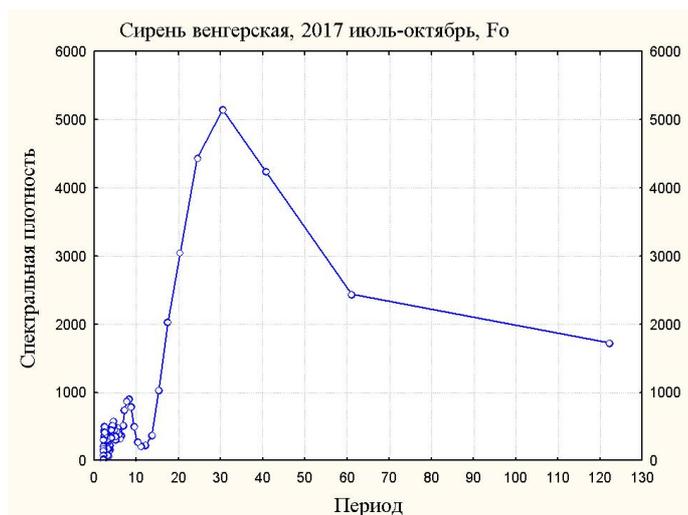


Рисунок 3. Спектр мощности динамики собственной флуоресценции хлорофилла листьев *Syringa josicaea* за весь сезон вегетации 2017 года.

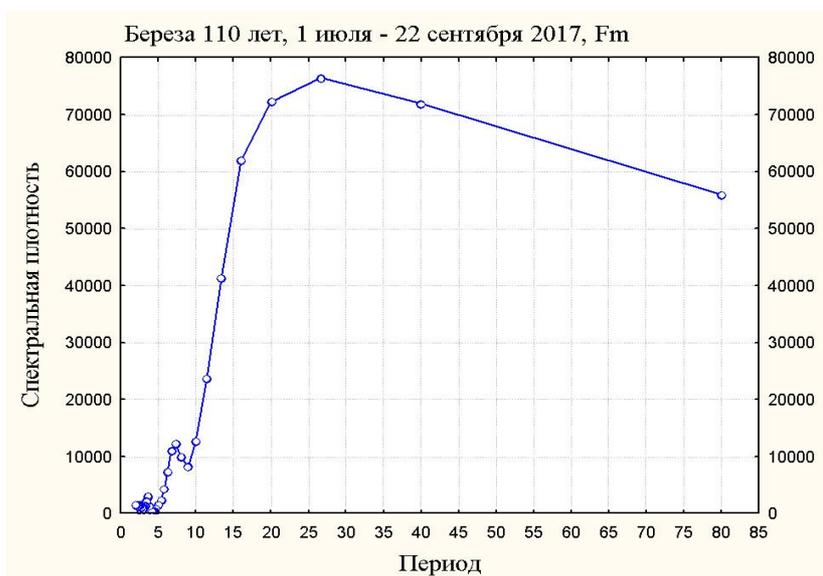


Рисунок 4. Спектр мощности динамики максимальной флуоресценции хлорофилла листьев *Betula pendula* за сезон вегетации 2017 года.

Вегетационный сезон 2019 года отличался повышенной влажностью, измерения фотосинтетических показателей носили нерегулярный характер и были закончены в конце августа, тем не менее, для динамики флуоресцентных показателей хлорофилла интактных листьев F_o , F_v/F_m и F_m и всех индикаторных растений характерны септанные и семисептанный компоненты спектров мощности, рис. 5. Их проявление и робастность зависели от биологического вида, положения листа в кроне и возраста дерева. Важно отметить, что отчетливой цикличности сопутствовала синхронность циклов разных листьев кроны. И наоборот, хаотичная многодневная динамика фотосинтеза характеризовалась отсутствием синхронности.

Таким образом, в годы с разным уровнем СА можно проследить корреляционную связь динамик ряда, ключевых для растений метеофакторов и фотосинтетической активности северных видов. Несмотря на имеющуюся связь динамик растительных объектов и экологических факторов вопрос о непосредственных прямых эффектах геомагнитных возмущений или корпускулярных потоков остается открытым. Временной анализ геомагнитных возмущений, связанных с СА, позволил разделить их в первом приближении на два типа – спорадические и рекуррентные возмущения. Их связывают с потоками частиц, летящих от солнечных вспышек, прорывающими замкнутую магнитную структуру в атмосфере Солнца и достигающими окрестности Земли. Рекуррентные возмущения образуют довольно длительные последовательности возмущений с периодом около 27 дней. Их связывают с усиленным солнечным ветром от корональных дыр.

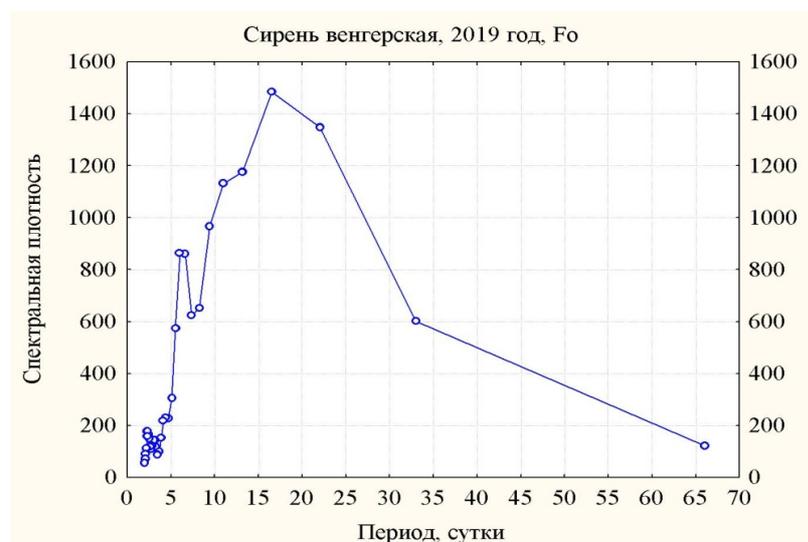


Рисунок 5. Спектр мощности динамики собственной флуоресценции хлорофилла листьев *Syringa josicaea* за сезон вегетации 2019 года.

С течением цикла СА наблюдается четко выраженный максимум частоты спорадических возмущений, совпадающий по времени с максимумом солнечных пятен. Через 4-6 лет на фоне спада цикла СА наступает максимум частоты рекуррентных геомагнитных возмущений [Дубов, 1992]. На основе многолетнего анализа фотосинтетической активности бореальных видов листопадных растений нами было выявлено появление около 27 дневных циклов в 2017 - 2018 гг., а также циклов кратных около недельным. Это указывает на их прямую гелеогефизическую обусловленность [Вернова, и др., 1983; Бреус, 2002]. Местные дикорастущие экотипы черемухи *Radus 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 [Кашулин и др., 2017].

Однако, для окончательного доказательства прямого влияния космических факторов необходимо понимание физиолого-биохимических механизмов влияния слабых физических полей и активные модельные эксперименты в контролируемых лабораторных условиях.

Список литературы

- 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.
- Вернова Е.С., Почтарев В.И., Птицына Н.Г., Тясто М.И. Короткопериодические вариации в скорости изменения солнечной активности как геочувствительный параметр // Геомагнетизм и аэрономия. 1983. Т.23. № 4. С. 519-523.
- Дубов Э.Е., Хромова Т.П. Индексы солнечной и геомагнитной активности // Биофизика. Т. 37, вып. 4. 1992. С. 785-804.
- Кашулин П.А., Калачева Н.В., Журина Э.И. Опережающие реакции сосудистых растений на солнечные корональные инжекции // Physics of Auroral Phenomena. Proceedings of XLI Annual Seminar, Apatity, 12-16 March 2017. P. 207-211.
- 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.