
СВОБОДНАЯ ТРИБУНА

УДК 504.38

DOI: 10.15372/KhUR2019158

Биофизика бабьего лета: размышления о связи фотосинтеза с сезонными колебаниями температуры

А. К. ПЕТРОВ, Н. Э. ПОЛЯКОВ

*Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН,
Новосибирск (Россия)**E-mail: polyakov@kinetics.nsc.ru*

(Поступила 13.02.19; после доработки 02.04.19)

Аннотация

С давних времен жители средних широт Земли отмечают ежегодно повторяющиеся природные аномалии двухнедельной продолжительности: в конце мая – начале июня возврат холодов, а в конце сентября – начале октября – возврат тепла. По времени эти явления совпадают с началом и концом фотосинтеза в соответствующих регионах. Показано, что с точки зрения биофизики это строго взаимосвязанные природные явления, а начало и конец биосинтеза растений могут обусловить скачки температуры воздуха в приземном слое на 5–10 °С.

Ключевые слова: фотосинтез, парниковый эффект, углекислый газ, сезонные колебания температуры

Клены выкрасили город
Колдовским каким-то цветом,
Это снова, это снова
Бабье лето, бабье лето.

Игорь Кохановский

Большая часть человечества живет в тропической и субтропических зонах Земли, т. е. от 30° с. ш. до 30° ю. ш. Это пояс планеты с положительной средней годовой температурой [1], с вечнозелеными растениями и непрерывным фотосинтезом в них. Однако сейчас речь пойдет о тех, кто живет в Европе (35–70° с. ш., 2-е место по населению), США (30–50° с. ш., 3-е место), России и Канаде (50–70° с. ш.) – суммарно около 30 % суши Земли. В южном полушарии на таких широтах находится часть Аргентины и Чили (Огненная Земля – 55° ю. ш.). Для жите-

лей перечисленных территорий, расположенных севернее или южнее 35-й параллели, за исключением прибрежных зон, испытывающих глобальное влияние океанского термостата, характерно резкое прерывание фотосинтеза растений на период отрицательных температур и такое же резкое возобновление с наступлением теплых дней.

Уже много столетий население таких территорий фиксирует двухнедельный возврат холодов в конце мая – начале июня, хотя Солнце светит уже по 16 ч в день (в России это совпадает с цветением черемухи), и возврат тепла примерно на тот же период в конце сентября – начале октября при продолжительности дня 12 ч. В России этот период называют бабьим летом, в Германии – старушечьим, в Болгарии,



Рис. 1. Бабье лето.

Македонии и Румынии – цыганским, в Испании и Италии – Санта Марина, а в США – индейским. Особенно ценят этот осенний подарок природы в России, где в октябре возможны заморозки, а в ноябре уже наступает зима. В Сибири часто именно в это время крестьяне успевают убрать урожай. И если физические причины повышения температуры еще как-то обсуждаются в научно-популярной литературе, то биофизика ежегодного похолодания в начале летнего периода полностью ускользнула от внимания ученого сообщества.

Для начала рассмотрим существующие версии повышения температуры нижних слоев атмосферы в начале осени. Метеорологи объясняют феномен бабьего лета образованием над Атлантическим океаном Азорского циклона, который движется на восток до России [2]. Но как быть с индейским летом в Америке (т. е. на западе) и возвратом “черемуховых” холодов? По нашему убеждению, и “черемуховое” похолодание, и бабье лето четко связаны с началом и концом фотосинтеза растений в средних широтах Земли. Наступление бабьего лета наблюдается вслед за первыми осенними холодными ночами и только в регионах с континентальным климатом. В заморозки сокращается количество воды, поступающей из почвы в растения, поэтому для уменьшения потери влаги, испаряющейся с поверхности листьев, деревья их сбрасывают. Одновременно в связи с сокращением длительности светового дня происходит распад хлорофилла, без которого становятся заметны другие пигменты листьев: каротиноиды окрашивают листья в желтый и оранжевый цвета, а флавоноиды – в красный и фиолетовый (рис. 1).

В свое время академик В. И. Вернадский, изучая ноосферу Земли, выдвинул гипотезу, что потепление после листопада – естественный процесс для зоны лиственных лесов. Ученый связывал это явление с процессом прения огромной массы листвы, что сопровождается выделением большого количества тепла. Учитывая гигантские объемы меняющей окраску листвы на обширной территории планеты (рис. 2), по мнению Вернадского, рассеиваемого и выделяемого тепла достаточно для увеличения атмосферного давления и образования восходящего потока воздуха [3]. В верхних слоях атмосферы воздух остывает, и его вертикальный поток меняется на горизонтальный, разгоняя облачность над регионом. Отсутствие осадков и лучи пока еще высокостоящего Солнца делают свое дело – на пару недель устанавливается сухая и теплая погода.

Но если повышение температуры после опадания листвы можно объяснить выделением тепла во время прения огромной массы листвы, то каковы физические причины похолодания в начале лета? Мы полагаем, что это связано с началом фотосинтеза. До поверхности Земли доходит около 42 % солнечной энергии в диапазоне длин волн 400–700 нм, из них в среднем всего 1–3 % идет на фотосинтез [4]. На первый взгляд, это очень мало, но в эту цифру основной вклад вносят вечнозеленые тропические леса, для которых природа “изобрела” дополнительные защитные механизмы утилизации избыточной солнечной энергии [5, 6]. В средней же полосе России, напротив, в начале лета происходит интенсивный рост биомассы растений, эффективность использования солнечной энергии существ-

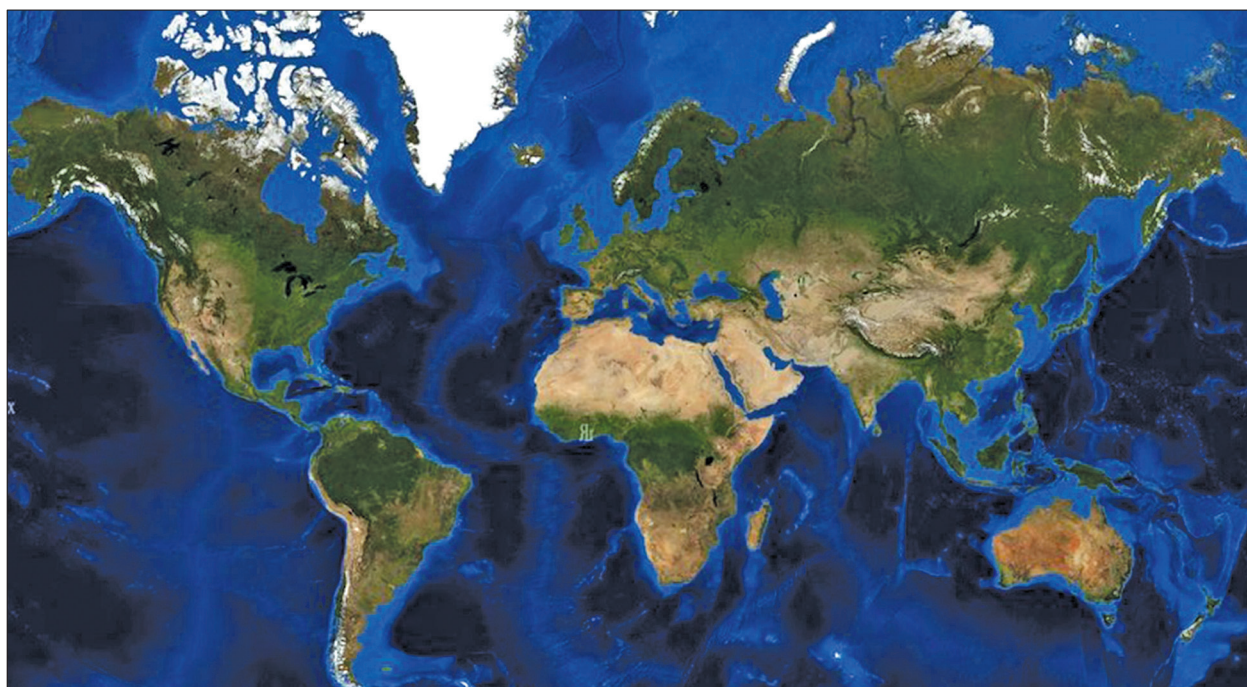


Рис. 2. Спутниковый снимок планеты Земля.

венно возрастает, а ее доля, идущая на нагрев поверхности почвы, становится минимальной. Достаточно взглянуть на спутниковый снимок планеты, чтобы оценить масштабы зеленой биомассы в средних широтах Земли и ее потенциал поглощения солнечной энергии (см. рис. 2). Академик В. И. Вернадский, проведя анализы и расчеты, пришел к выводу, что площадь поверхности зеленых листьев деревьев, стеблей трав и зеленых водорослей более чем в 10 000 раз превышает площадь поверхности Земли [3]. В последние годы аналогичную работу проделал академик И. И. Гительзон, чьи расчеты совпали с данными Вернадского полувековой давности [7].

1 августа 2008 г. в Новосибирске наблюдалось полное солнечное затмение, ширина полосы которого достигала 200 км. Мы принимали участие в мониторинге этого явления, все результаты опубликованы в работе [8]. Фаза полного затмения длилась всего 30 мин. За это время радиационный баланс (разность между поглощенной и излученной энергией на единицу поверхности) в приземном слое атмосферы стал отрицательным и достиг -115 Вт/м^2 , при этом температура воздуха около поверхности упала на 2.2°C . Затраты энергии Солнца в средних широтах Земли, представляющих собой полосу шириной до 4000 км, в течение 12–16 ч в сутки на фотосинтез, который в течение двух недель резко начинается и так же резко заканчивает-

ся, могут вызвать куда более заметный скачок температур. Приведем несколько простых оценок. Как уже отмечалось, часть солнечной энергии, которая может использоваться растениями для фотосинтеза, так называемая фотосинтетическая активная радиация (ФАР), составляет 42 % от суммарной энергии солнечного излучения. Коэффициент усвоения ФАР – количество накопленной в биомассе энергии на единицу площади (в процентах от поступившей на эту площадь за время вегетации ФАР) – составляет 1–3 %. Время вегетации в средней полосе варьируется от 3 до 5 мес., однако интенсивный набор биомассы лесов приходится в основном на первые две недели. Это означает, что в пик роста растений коэффициент усвоения ФАР может достигать 30 %, или 15 % от общего количества поступающей энергии Солнца. Принимая во внимание средние температуры воздуха в январе ($-10 \dots -30^\circ\text{C}$) и в июне ($+20 \dots +30^\circ\text{C}$), понижение температуры за счет резкого начала фотосинтеза может составить $5\text{--}10^\circ\text{C}$.

Но утилизация энергии Солнца в период интенсивного набора биомассы растений – это не единственное последствие фотосинтеза. Действительно, большая часть солнечной энергии до начала фотосинтеза затрачивается на нагрев поверхности Земли. К началу лета устанавливается равновесие, когда количество падающей солнечной энергии равно количеству излучае-

мой энергии с поверхности почвы в виде инфракрасного излучения [9]. К счастью для нас, это излучение поглощают и задерживают в приповерхностном слое атмосферы парниковые газы (в скобках указаны длины волн полос поглощения): вода (6 и 2.7 мкм), метан (7.7 и 3.3 мкм) и самый эффективный – углекислый газ (15, 4.5 и 2.7 мкм). Но именно последний вместе с водой и “красным” (0.68 мкм) светом являются основой фотосинтеза [10, 11]. Концентрация углекислого газа в воздухе уменьшается в связи с резким ускорением фотосинтеза весной и затем возрастает до прежнего равновесного значения с резким его замедлением осенью [12]. Это также может влиять на похолодание и потепление. Действительно, сезонные колебания концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы в высоких широтах 63–82° с. ш. составляют от 22 до 27 м. д. [12], это примерно 10 % от общего содержания CO_2 в атмосфере. Предполагается, что в возникновении сезонных колебаний содержания CO_2 определяющую роль играет наземный растительный покров [13]. Отметим, что с наличием в атмосфере углекислого газа теснейшим образом связано само существование жизни на Земле, включая как биосинтез, так и парниковый эффект – сохранение тепла, которое излучает нагретая солнечными лучами Земля. Благодаря только парниковому эффекту среднегодовая температура у поверхности Земли примерно равна 15 °С, без него она опустилась бы на 39 °С – до –24 °С, при которой существование жизни на Земле стало бы невозможным [14]. Таким образом, 10 % уменьшение концентрации углекислого газа в атмосфере в результате интенсивного фотосинтеза только за счет парникового эффекта может привести к снижению температуры на 3–5 °С. Сравнимый по величине вклад в понижение температуры (5–10 °С) даст и уменьшение доли энергии падающего излучения, идущей на нагрев атмосферы.

Соответственно, осенью в период бабьего лета, в связи с окончанием фотосинтеза и началом листопада, возрастает концентрация CO_2 в атмосфере и усиливается парниковый эффект. Кроме того, прекращается поглощение энергии Солнца растениями, т. е. вся поступающая от Солнца энергия идет на нагрев почвы и атмосферы. Так что не зря сибирские крестьяне рассчитывают на бабье лето и опасаются “черемухового” похолодания.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХКГ СО РАН (проект 0304-2017-0009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Погосян Х. П., Туркетти З. Л. Атмосфера земли. М.: Просвещение, 1970. 318 с.
- 2 Нестеров Е. С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, 2013. 144 с.
- 3 Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1987. 348 с.
- 4 Hall D. O., Rao K. Photosynthesis. Cambridge: Univ. Press, 1999. 214 p.
- 5 Holt N. E., Zigmantas D., Valkunas L., Li X. P., Niyogi K. K., Fleming G. R. // Science. 2005. Vol. 307. P. 433–436.
- 6 Ahn T. K., Avenson T. J., Ballottari M., Cheng Y. C., Niyogi K. K., Bassi R., Fleming G. R. // Science. 2008. Vol. 320. P. 794–797.
- 7 Экологическая биофизика. Т. 1. Фотобиофизика экосистем. / Под ред. Гительсона И. И., Печуркина Н. С. М.: Логос, 2002. 327 с.
- 8 Горчаков Г. И., Петров А. К., Исаков А. А., Кадыгров Е. Н., Карпов А. В., Козлов А. С., Копейкин В. М., Курбатов Г. А., Малышкин С. Б., Миллер Е. А., Троицкий А. В. // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 5. С. 341–346.
- 9 Hackforth H. L. Infrared Radiation. N.Y.: McGraw-Hill Book Company, 1960. 303 p.
- 10 Полозкова В., Паволга О. Фотосинтез. М.: Livebook, 2017. 112 с.
- 11 Blankenship R. E. Molecular Mechanisms of Photosynthesis, 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2014. 312 p.
- 12 Романовский М. Г. // Лесной вестн. 2009. № 1. С. 31–34.
- 13 Keeling C. D., Chin J. F. S., Whorf T. P. // Nature. 1996. Vol. 382. P. 146–149.
- 14 Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. М.: МГУ, 2002. 560 с.