



С. В. Шмидт

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТЕНИЯ**

Биотические параметры окружающей природной среды, такие, как сроки наступления фенологических явлений, прирост деревьев, физиологические реакции у растений, реагируют на внешние и внутренние изменения условий роста и могут быть использованы как индикаторы внешней среды, ее состояния и изменений. Выявлены различия в термодинамических реакциях деревьев, растущих в районах с разной сейсмичностью.

*The biological parameters of environment, such as the period of phenological phenomena, tree-rings, and physiological reactions in plants react to external and internal changes in the conditions of growth that can be used as indicators of the environment, its condition and changes. This article identifies the differences in the thermodynamic reactions of trees growing in areas with different seismicity.*

**Ключевые слова:** биоиндикация, фотосинтез, береза повислая, норма, стресс.

**Key words:** bioindication, photosynthesis, silver birch, norm, stress.

**Введение**

Наблюдаемое потепление Северного полушария [1], особенно ярко проявляющееся с середины 1960-х гг. XX в., отражается на смещении сроков наступления сезонных процессов и явлений (в сторону более ранних весной и поздних осенью). В ряде соответствующих работ для Европы [2; 3] представлены тенденции в изменениях сроков наступления весенних и осенних фенологических явлений в живой и неживой природе, характеризующиеся региональными различиями. К примеру, показаны смещения сроков разворачивания первых листьев у березы бородавчатой за период 1966 – 1995 гг. [2; 14].

Основная часть поступающей к Земле солнечной радиации поглощается подстилающей поверхностью [4]. Известно, что биосфера регулирует обмен энергией, водой, а также импульсы (влияющие на процессы движения) в системе «атмосфера – подстилающая поверхность». Геодинамическая неоднородность поверхности Земли может формировать региональные различия в фоновых (климатических) процессах энергообмена в указанной системе [5–7]. Известно, что эпицентры землетрясений (сейсмичность территорий) расположены вдоль активных в тектоническом отношении геоблоков и трансблоковых зон.

Ответная реакция биоты в Северной Европе показывает тенденции раннего наступления весенних фенологических явлений (до – 10 дней). В Центральной Европе проявляются региональные различия: в районах



с активной сейсмичностью [15–17] тенденции минимальны — от +5 до –5 дней, а в районах со спокойной сейсмичностью — до –10 дней. Выполненный ранее анализ [8; 9] реакций стресса и нормы у ряда растений (*Betula pendula* Roth., *Tilia platyphyllos* Scorp., *Raphanus sativus* var *oleifera*, *Hordeum vulgare* L.) показывает для условий температурного и солевого стресса увеличение скорости темновых реакций и уменьшение скорости световых реакций фотосинтеза в три и более раз. Оптимальные условия имеют минимальную вариабельность значений при одинаковых условиях измерений, изменения скорости световых и темновых реакций во времени происходят синхронно.

Биологические системы являются открытыми для обмена с внешним окружением веществом и энергией. Периодические колебания свойств такой системы связаны с процессами фотосинтеза, биохимическими реакциями и др. В простых физико-химических системах стационарное состояние определяется постоянством внешних условий. Стационарность биологических объектов — способность сохранять постоянство своей внутренней среды при случайных колебаниях во внешней — обеспечивается за счет авторегулирования процессов метаболизма в клетке и в организме. При этом стационарное состояние автоколебательной системы представляет собой устойчивый цикл. Чувствительность биологического объекта — это реакция на небольшие тестовые нагрузки. Устойчивость — свойство стационарного состояния системы возвращаться в него вновь.

Цель данной работы — выявить стационарные состояния фотосинтетического газообмена у растущих на территориях с разной сейсмичностью деревьев, описать их чувствительность к температурному воздействию.

### Материал и методика исследований

Результаты обобщения данных о распространении эпицентров землетрясений в Калининградской области [10] позволили выделяемые полосы сейсмической активности в данном исследовании при выборе мест отбора проб. Населенные пункты: Полесск (активная сейсмичность) и Славинск (относительно спокойная сейсмичность). Объект исследования — береза повислая (*Betula pendula* Roth.).

Для отбора пробы выполнялись следующие требования: учитывались однородность территорий по фитогеографической и климатической зонам [11], расположение деревьев в парковой зоне (здоровые по жизненному состоянию [12] деревья одного возраста — около 70 лет (определен по методу, разработанному для лесной зоны России [9]), растущие вблизи водотока — 1–2 м), принималось во внимание постоянное место отбора материала от растения. Выбранные места произрастания деревьев (Полесск — районный центр, Славинск — сельский населенный пункт) характеризуются очень слабой антропогенной нагрузкой, слабым загрязнением атмосферного воздуха и реки Деймы



[11]. Представленная в Полесске промышленность и большая по сравнению со Славинском плотность населения могут теоретически значительно увеличивать антропогенные нагрузки.

Измерения интенсивности фотосинтетического газообмена выполнены по кислороду, выделяемому фотосинтезирующим растением в темновую и световую фазы, с помощью прибора «Plant Vital 5000» на основе сенсора Кларка. Время измерения — 15 мин (темновая фаза — 3 мин, длина волны света поглощения — 630–650 нм). Выполнено по три измерения на каждый вариант температурных условий (5, 10... 35 °С). Средние значения температур воздуха для Калининграда [13] за период 2001–2010 гг.: лето — 17,8 °С; июль — 19,2 °С. За период наблюдений 01.07.2011–15.07.2011: среднее значение — 18,2 °С, максимальное — 23 °С. Погодные условия в ходе сбора материала и измерений сходные, без осадков. Для анализа были использованы следующие измеряемые параметры:

- 1)  $R$  (мг/л · с) — скорость выделяемого растением кислорода во время темновой фазы;
- 2)  $S$  (мг/л · с) — скорость выделяемого растением кислорода во время световой фазы между точкой минимума и максимума.

Обработка и визуализация результатов измерений проведена в программах Excel.

### Обсуждение результатов

Анализ скорости выделения кислорода в темновую и световую фазы в вариантах температурных условий (табл.) по средним значениям и стандартным отклонениям показывает более стационарно устойчивую группу деревьев 1–2 (Полесск), характеризующуюся меньшей вариацией параметров в вариантах по сравнению с группой 3–4 (Славинск).

Анализ изменений скорости выделения кислорода в темновую и световую фазы в зависимости от температуры измерения выполнен с помощью статистического моделирования. Рассчитаны коэффициенты уравнений и статистические характеристики (табл.). Для дальнейшей работы использовали модель квадратического уравнения — вариант С. Найденные коэффициенты уравнений моделей применяли для построения графиков изменения скорости эмиссии кислорода в зависимости от температуры (рис. 1). Ход графиков всех исследованных объектов сходен. Для условий минимальных температур 5 °С получены минимальные значения скорости выделения кислорода в световой и темновой фазах — процесс газообмена ослаблен. Максимальные значения скорости выделения кислорода в световой фазе соответствуют температуре 25 °С — процесс образования кислорода наиболее интенсивный. Увеличение скорости темновых и уменьшение скорости световых реакций при температуре 35 °С фиксирует ослабление процессов газообмена у растений.



Исходные статистики и результаты моделирования

Вариант		Дерево			
		1	2	3	4
R	A 5	-0,026 (0,002)	-0,019 (0,006)	- 0,033 (0,019)	- 0,033 (0,004)
	A 10	-0,030 (0,008)	-0,018 (0,009)	- 0,025 (0,005)	- 0,031 (0,009)
	A 15	-0,033 (0,007)	-0,017 (0,009)	- 0,024 (0,002)	- 0,030 (0,004)
	A 20	-0,028 (0,005)	- 0,017 (0,003)	- 0,027 (0,005)	- 0,032 (0,004)
	A 25	-0,028 (0,003)	- 0,017 (0,003)	- 0,030 (0,009)	- 0,036 (0,003)
	A 30	-0,038 (0,003)	- 0,024 (0,003)	- 0,037 (0,003)	- 0,044 (0,007)
	A 35	-0,037 (0,004)	- 0,033 (0,003)	- 0,152 (0,206)	- 0,036 (0,003)
	B	0,55	0,50	0,30	0,45
	C	0,59	0,95	0,70	0,50
	D	0,56	0,54	0,32	0,46
	E	0,74	0,71	0,55	0,67
S	A 5	0,013 (0,002)	0,011 (0,002)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)
	A 10	0,032 (0,007)	0,022 (0,007)	0,010 (0,004)	0,007 (0,004)
	A 15	0,044 (0,004)	0,028 (0,007)	0,031 (0,000)	0,027 (0,012)
	A 20	0,053 (0,009)	0,030 (0,003)	0,017 (0,004)	0,046 (0,003)
	A 25	0,073 (0,006)	0,040 (0,014)	0,026 (0,023)	0,047 (0,008)
	A 30	0,078 (0,011)	0,050 (0,009)	0,030 (0,015)	0,023 (0,004)
	A 35	0,057 (0,011)	0,016 (0,000)	0,025 (0,000)	0,028 (0,011)
	B	0,74	0,24	0,55	0,34
	C	0,91	0,62	0,74	0,78
	D	0,46	0,14	- 0,46	- 0,75
	E	0,86	0,49	0,74	0,59

Примечание. А – среднее значение измеренных данных в вариантах температур для R и S (стандартное отклонение); коэффициент R<sup>2</sup>: В – линейная регрессия; С – квадратичная регрессия; D – экспоненциальная регрессия; Е – линейная корреляция.

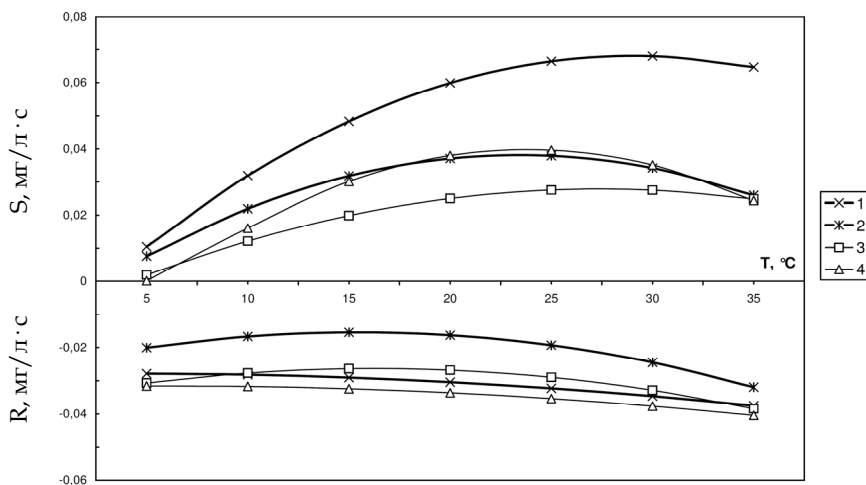


Рис. 1. Изменение скорости выделения кислорода в деревьях в световую (S) и темновую (R) фазы в зависимости от температуры измерений: 1, 2 – активная сейсмичность; 3, 4 – спокойная сейсмичность



Анализ распределения отношений средних значений эмиссии кислорода в световой фазе к темновой фазе ( $S/R$ ) в вариантах температур позволил выделить различия термодинамической связи фотосинтетического газообмена. Результаты распределения представлены на рисунке 2, из которого видно, что максимальное стандартное отклонение  $0,64-0,67$  мг/л · с соответствует вариантам деревьев 1–2, максимальные значения для температур  $-25$  °С. Деревья 3–4 имеют максимальные значения для температур  $15-25$  °С, стандартное отклонение  $0,35-0,49$  мг/л · с.

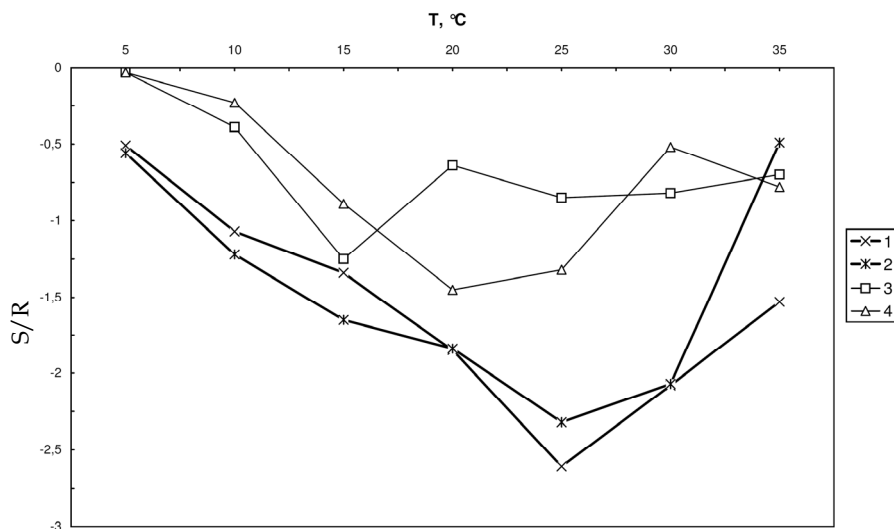


Рис. 2. Ход отношений скорости выделения кислорода в деревьях в световую фазу к темновой фазе ( $S/R$ ) в зависимости от температуры измерения:

1, 2 – активная сейсмичность; 3, 4 – спокойная сейсмичность

В ходе работы на основе статистически однородных исходных данных получены различия стационарных состояний световых и темновых реакций фотосинтетического газообмена. Вычисленный результат отражает реакцию деревьев на температурное воздействие в существующих фоновых условиях произрастания. Предполагаем, что источник региональных особенностей физиологических реакций растений, возможно, связан с сейсмической активностью, изменяющей устойчивость грунтов и условия энергообмена в системе «атмосфера – подстилающая поверхность». В условиях с активной геодинамикой биосистемы характеризуются минимальными изменениями многолетних сроков наступления сезонных процессов, более сильной реакцией на изменение температур, меньшей вариабельностью измеренных значений в вариантах температур. В условиях спокойной геодинамики современное повышение температур отражается на смещении в сторону более ранних весенних сроков наступления сезонных процессов, температурный оптимум биосистем сглажен и находится в интервале  $15-25$  °С.



## Список литературы

1. Serreze M. C., Walsh J. E., Chapin F. S. et al. Observational evidence of recent changes in the northern high-latitude environment // *Climatic Change*. 2000. Vol. 46. P. 159–207.
2. Минин А.А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. М., 2000.
3. Roetzer T., Chmielewski F. Phenological maps of Europe // *Climate research*. 2001. Vol. 18. P. 249–257.
4. Volmer J.P., Deque M., Tarrand M. Large Scale Fluctuations in a Long Range Integration of the ECMWF Spectral Model // *Tellus*. 1983. Vol. 35. P. 173.
5. Гласко М.П., Раницман Е.Я. Морфоструктурные узлы – места активизации природных процессов // *Вестник РАН. Сер. География*. 1991. №1. С. 5–9.
6. Gordon R.G. The plate tectonic approximation: Plate nonrigidity, diffuse plate boundaries, and global plate motions // *Ann. Revs. Earth Planet. Sci.* 1998. Vol. 26. P.615–642.
7. Press F., Siever R. *Understanding Earth*. N.Y., 2000.
8. Vidyakina S. V., Averina N. G., Rassadina V. V. et al. Opportunities of methods of indication of stress and norm reactions of plants // *Ekologicheskij Vestnik*. 2008. №4. P. 5–15.
9. Шмидт С., Шмидт Х. Реакции растений разных жизненных форм на изменения природной среды // *Балтийский регион*. 2011. №1 (7). С.31–40.
10. Аносов Д.И., Чугаевич В.Я. Сейсмический потенциал Калининградской сейсмической зоны // *Горный журнал*. 2011. №2. С. 81–83.
11. *Географический атлас Калининградской области* / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград, 2002.
12. *Наблюдения за развитием природы Москвы* / под ред. А.А. Минина. М., 2002.
13. *Climate Kaliningrad Airport*. URL: [http://www.tutiempo.net/en/Climate/Kaliningrad\\_Airport/07-2011/267020.htm](http://www.tutiempo.net/en/Climate/Kaliningrad_Airport/07-2011/267020.htm) (дата обращения: 11.05.2012).
14. *COST 725*. URL: <http://www.zamg.ac.at/cost725> (дата обращения: 11.05.2012).
15. Блинова Т.С. Прогноз геодинамически неустойчивых зон. Екатеринбург, 2003.
16. *Землетрясения в СССР*. Ежегодники. М., 1962–1991.
17. Gruenthal R.W., Stromeyer R.D. The unified catalogue of earthquakes in central, northern and northwestern Europe – updated and expanded to the last millennium // *J. Seismol.* 2009. Vol. 13, is. 4. P. 517–541.

## Об авторе

Светлана Владимировна Шмидт – канд. геогр. наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: sv.schmidt@mail.ru

## About author

Dr Svetlana Schmidt, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: sv.schmidt@mail.ru