

С. В. Шмидт
Х. Шмидт

**РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ
РАЗНЫХ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ
НА ИЗМЕНЕНИЯ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**



Представлены результаты экспериментов, выявляющих реакции нормы и стресса у растений разных жизненных форм: деревья — Betula pendula Roth, Tilia platyphyllos Scop., Pinus sylvestris L.; водоросль — Galium palustre L.; трава — Solidago canadensis; злак — Secale cereale L. Сбор и обработка материала проведена в районе Берлин/Бранденбург, Германия. На основе сенсора Кларка определены количество и скорость выделения кислорода растениями в темновую и световую фазы фотосинтеза.

В обычных условиях среднее количество выделяемого кислорода, средняя скорость процессов метаболизма изменяется синхронно в ходе темновой и световой фаз фотосинтеза. Выявлены параболическая и периодическая зависимости этих изменений в течение вегетационного периода. При стрессе (засуха, болезни) скорость темновых реакций метаболизма по сравнению со световыми увеличивается в 2—3 раза.

Полученные данные могут быть использованы для биоиндикации климатических изменений в Балтийском регионе.

This paper contains test results revealing norm and stress reactions of various life-form plants: trees — Betula pendula Roth, Tilia platyphyllos Scop., Pinus sylvestris L.; water-plant -Galium palustre L.; grass — Solidago Canadensis; cereal — Secale cereale L. Collection and processing of the material was made in the area of Berlin/Brandenburg, Germany. Clark sensor-based method made it possible to determine the amount and rate of the oxygen evolution by plants in the dark and light phase.

Under the reaction norm the average amount of the oxygen evolved and the average rate of metabolism processes during dark and light phases are changing simultaneously. Parabolic and periodic dependences of these changes during the vegetation period has been found. Under the stress reaction (drought, illness) the rate of metabolism dark reactions is increased by 2—3 times as compared with light reactions.

The obtained results may be use for bio-indication of the climate change in the Baltic Region.

Ключевые слова: кислород, фотосинтез, биоиндикация, стресс, норма.

Key words: oxygen, photosynthesis, bioindication, stress, norm.

Введение

Физиологический процесс обусловлен рядом факторов окружающей среды, которые определяют отклик биосистемы на стресс. Известно, что биосфера может иметь как быстрый отклик, например на засуху, так и замедленный, когда происходит накопление изменений, например повышение средних годовых температур [1].

Индикация во времени состояния живой системы позволяет выявлять жизнестойкость биосистемы при прохождении фенологических фаз, при изменении условий среды, окружающих эту систему. Фотосинтез это суммарный и доминантный физиологический процесс в растении. Выделяемый в процессе фотосинтеза кислород является индикатором отклика органелл и клеток растения на внешние и внутренние изменения. Сезонный ритм кислорода, выделяемый хлорофиллсодержащей поверхностью растения в течение вегетационного года, — результат многолетней адаптации организма.

Методика исследований

Оценка фотосинтетической активности выполнена по кислороду, выделяемому фотосинтезирующим растением (клетками содержащими хлоропласты) в темновую и световую фазы с помощью прибора Plant Vital 5000, на основе сенсора Кларка. Для анализа были использованы следующие измеряемые параметры: 1) R (mg/l·s) — скорость выделяемого растением

кислорода во время темновой фазы; 2) S (mg/l·s) — скорость выделяемого растением кислорода во время световой фазы, между точкой минимума и максимума; 3) N_{av} (mg/l) — среднее количество кислорода, выделенного во время световой фазы от момента минимума за период 600 с. Обработка и визуализация результатов измерений проведена в программах Excel, Word.

Цель первого эксперимента: показать обменные реакции растений в оптимальных условиях среды обитания, учитывая способ отбора пробы, температуру измерений, возраст. Эксперименты проведены в июле 2006-го и июле 2007 г. Для отбора пробы выполнялись следующие требования: постоянный объект наблюдений — отдельно стоящее дерево или одна территория для сбора лугового растения; постоянное место отбора материала от растения. Для определения возраста деревьев использовали метод, разработанный для лесной зоны России [2].

Отбор пробы и измерения выполнены двумя способами. При первом способе вырезали кусочек фотосинтезирующего материала из листа или хвои растения, накладывали его на сенсор и фиксировали кюветой. Измерения выполнены в климатической камере при температурах 15, 25, 35 °С, длина волны света поглощения 630—650 нм. При втором способе был использован зажим листовой поверхности, измерение проводилось в естественных погодных условиях днем.

Измерения разновозрастных деревьев (*Betula pendula Roth*) выполнены с применением первого способа отбора проб.

Цель второго эксперимента: выявить естественный вегетационный ход обменных реакций у растений разных жизненных форм и его изменения на стрессовые факторы среды. Измерения проведены в течение вегетационного периода 2006 г. (май — ноябрь). Отбор пробы соответствует первому способу. В ходе работ были зафиксированы аномалии среды обитания: для березы низовой пожар и для липы повреждение *Cercospora microsora*.

Возраст деревьев в эксперименте рассчитан по указанному выше методу. Для березы средний прирост в диаметре за десять лет составляет 1—2 см, для липы 5—6 см, для сосны 2—3 см, на высоте 120 см. По измеренной длине окружности (28, 38, 53 см) рассчитан диаметр (соответственно 9, 12, 17 см). Возраст деревьев составил 45, 19 и 56 лет.

Определение обменных реакций растений в оптимальных условиях среды обитания

Проведение эксперимента позволяет выявить и оценить реакцию растений на метод отбора пробы, температурный фактор, возраст.

Было выполнено по три измерения на каждый вариант условий эксперимента. Варианты: температура воздуха (использован зажим), 15, 25, 35 °С (использована климатическая камера).

Контакт материала в зажиме менее плотный, чем в кювете. В варианте с зажимом, где не было повреждения материала (рис. 1), результаты позволяют сделать вывод, что значения R и S параметров равны или близки по значениям. В вариантах с климатической камерой наименьшую разницу между R и S параметрами имеем для следующих температурных условий: *Betula pendula Roth* 15—25 °С; *Solidago canadensis* 25—35 °С; *Secale cereale L* 25—35 °С; *Galium palustre L.* 25—35 °С; *Pinus sylvestris L.* 25 °С. Для условий климатической камеры, с температурой 25 °С имеем сходство обменных реакций у разновозрастных деревьев *Betula pendula Roth* — 14, 25 и 45 лет (рис. 2).

Таким образом, условиям без повреждения растений характерны минимальные значения R , S , N_{av} по сравнению с вариантами, где отбор проб проведен с изъятием материала из растения. Температурный оптимум для исследуемых растений в вариантах с климатической камерой — 25 °С, при этом зафиксирован минимальный разброс в значениях R и S параметров. Выявлено, что значения параметров фотосинтетической активности наиболее близки у деревьев 25- и 45-летнего возраста.

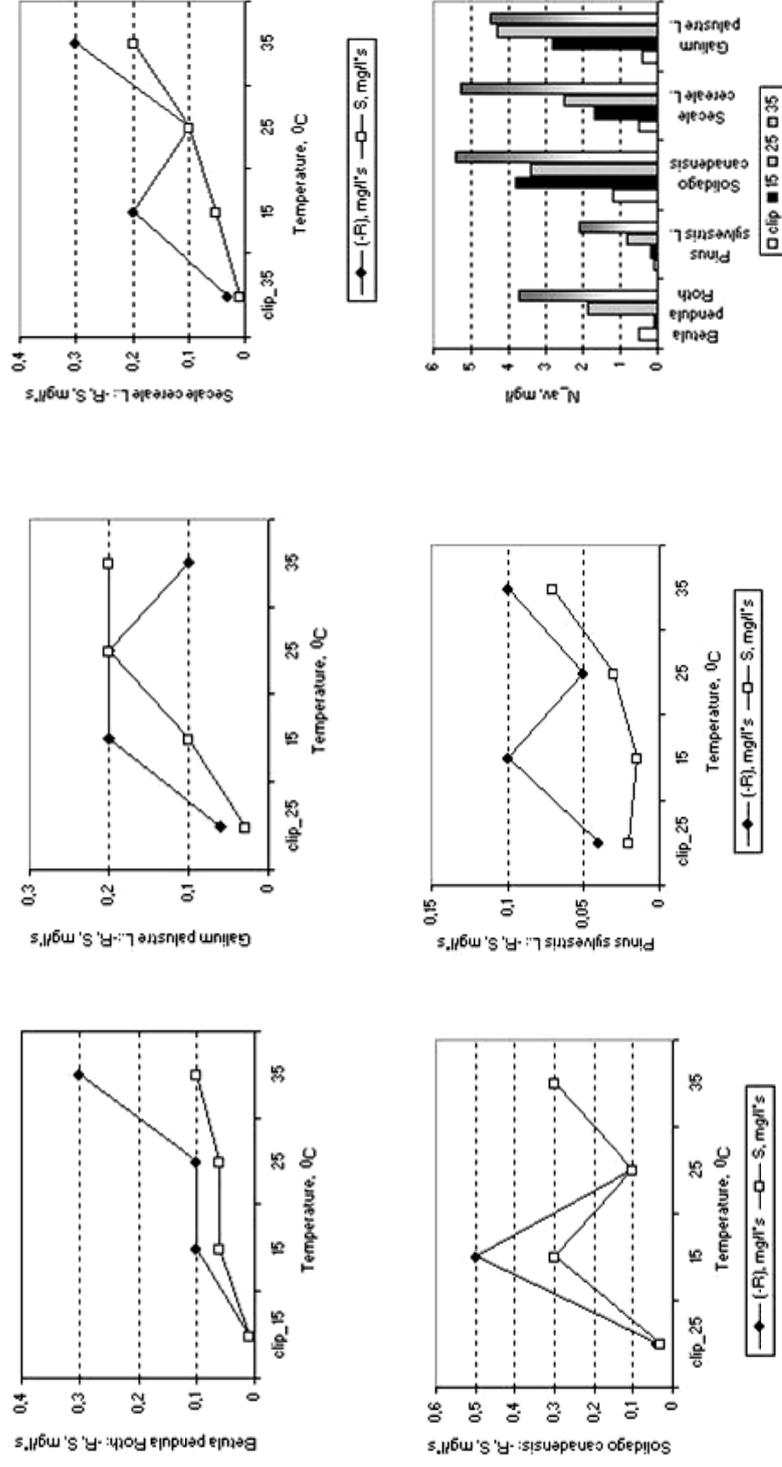


Рис. 1. Изменения средних значений параметров R, S, N_{av}, измеренных с зажимом листовой пластики при дневной температуре воздуха и в климатической камере при 15, 25, 35 °C. Измерения выполнены у *Betula pendula Roth* — 4.06.06; *Solidago canadensis* — 6.06.06; *Secale cereale L.* — 8.06.06; *Galium palustre L.* — 11.06.06; *Pinus sylvestris L.* — 13.06.06

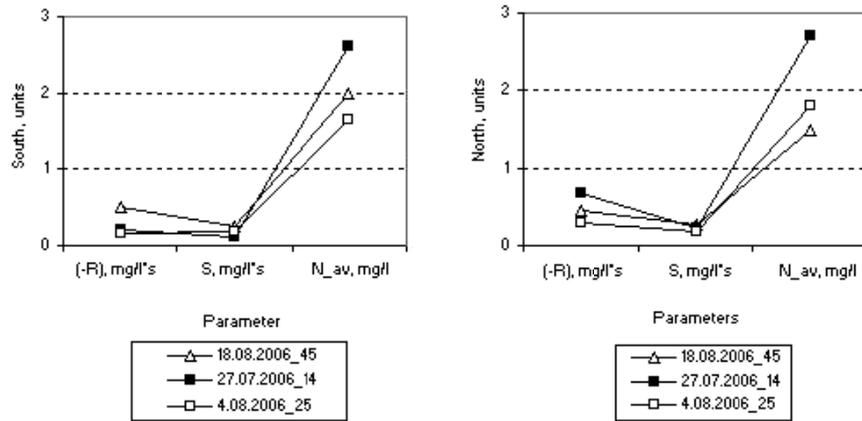


Рис. 2. Изменение средних значений параметров R, S, N_av при измерениях у деревьев (*Betula pendula Roth*) разного возраста

Сезонные ритмы обменных реакций растений и стрессовые факторы окружающей среды

Проведение данного эксперимента необходимо для уточнения локальных сценариев реакции биосистем, локальных ритмов в природе. В эксперимент были включены наблюдаемые в фенологии виды, более чувствительные к климатическому фактору [3].

Betula pendula Roth. Измерения были начаты в фенологическую фазу цветения. Вариация во времени средних значений R, S, N_av параметров (рис. 3) показывает их синхронность, исключение составляет R параметр для стороны дерева, обращенной к северу, 1 августа 2006 г. Эти измерения проведены после низового пожара, который произошел с северной стороны дерева. Мы видим увеличение скорости реакций, выделяющих кислород в темновую фазу фотосинтеза в 2—3 раза по сравнению со световыми реакциями (S). Распределение средних значений рассматриваемых параметров R, S фиксирует увеличение скорости процессов обмена в весенний и осенний периоды от 0,4 до 0,7 мг/л · с, в летний период происходит стабилизация в пределах от 0,15 до 0,25 мг/л · с. Параболическая зависимость изменения средних значений параметров R, S в течение вегетационного периода характерна и для параметра N_av с максимальными значениями от 4 до 5 мг/л в весенний и осенний периоды, в летний период — от 1 до 2,5 мг/л.

Tilia platyphyllos Scorp. В ходе вегетационного периода измерения проводились в течение трех дней (рис. 4). Первое измерение (18 мая) было выполнено во время фазы цветения. Последнее (15 августа) — при заболевании дерева и повреждении листьев *Cercospora microsora*. В начале сентября опали листья. Анализ данных измерений показывает, что 6 июля, когда повреждения листьев не наблюдали, произошло снижение S параметра и рост R параметра. Измерение 15 августа с поврежденными листьями показывают большую вариацию исходных значений и увеличение значений R и S параметров. Повышение скорости процессов обмена в темновую и световую фазы фотосинтеза позволяет говорить о стимулировании этих процессов, преждевременном старении. Изменение средних значений S, N_av параметров в течение вегетационного периода описывается параболической зависимостью.

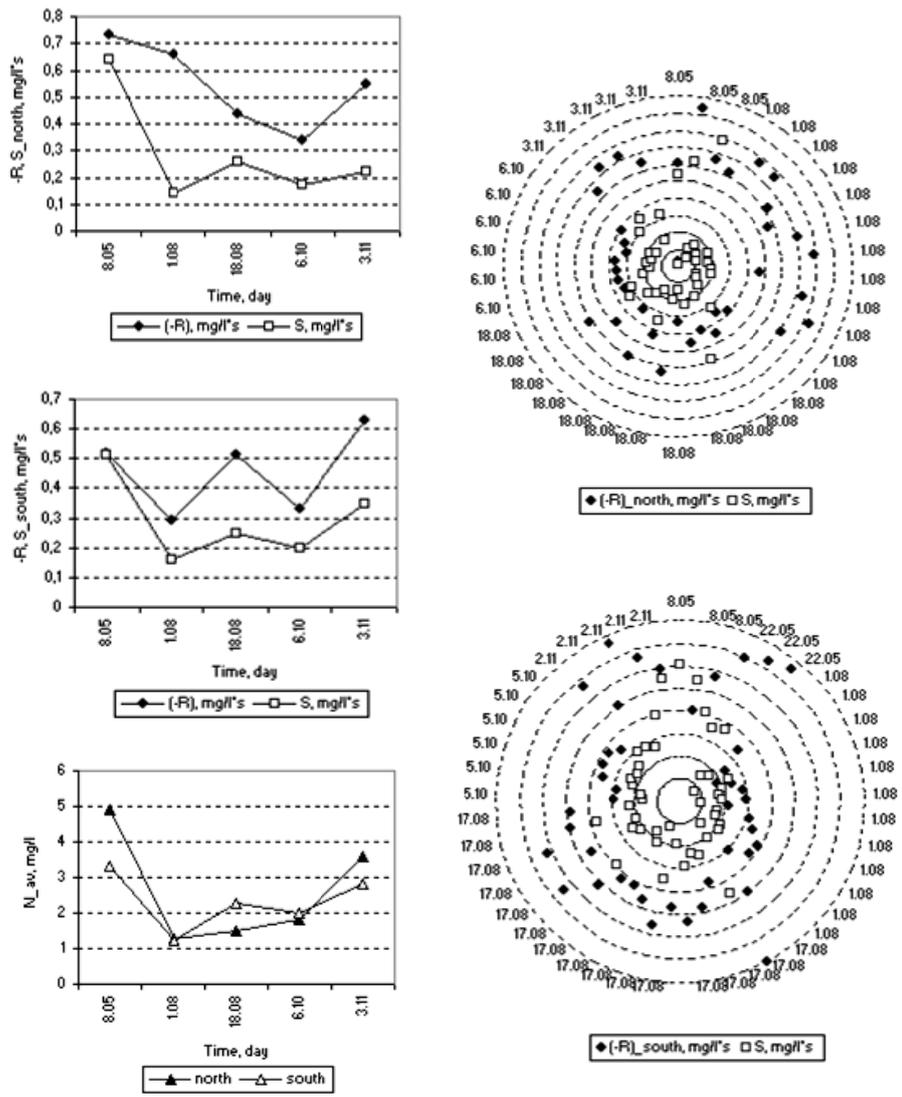


Рис. 3. Результаты эксперимента с *Betula pendula* Roth

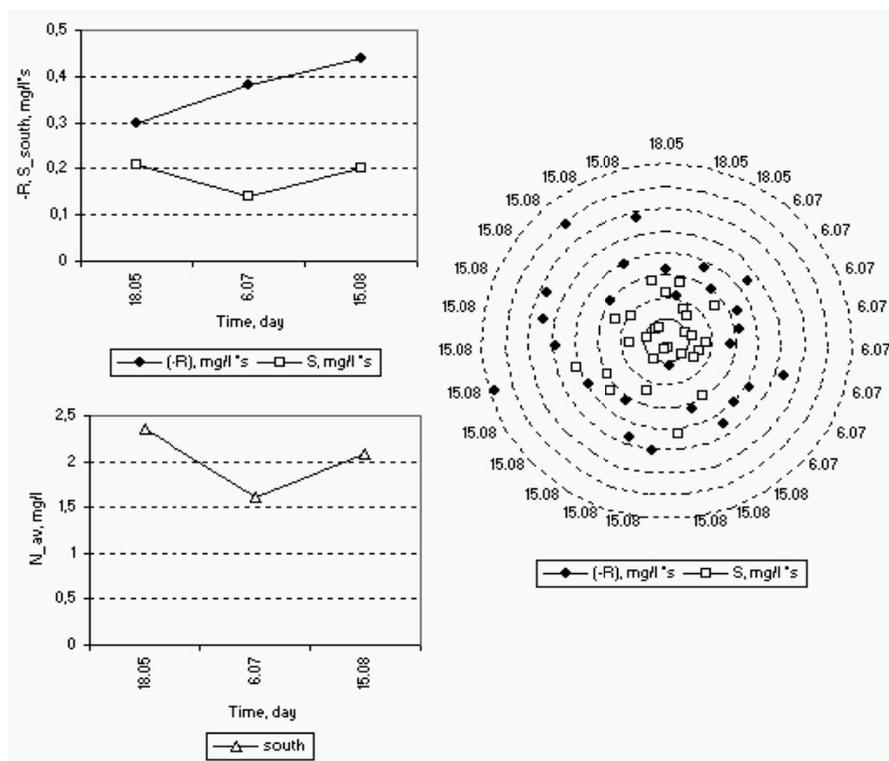


Рис. 4. Результаты эксперимента с *Tilia platyphyllos Scop*

Pinus sylvestris L. Измерения были начаты в фазу роста побегов, в течение вегетационного периода измерения проводились три дня (рис. 5). R, S параметры, полученные для стороны дерева, обращенной к северу, характеризуются в весенний период значениями, близкими к $0,15 \text{ мг/л} \cdot \text{с}$, в летний период происходит понижение значений S параметра до $0,05 \text{ мг/л} \cdot \text{с}$, значения скорости темновых процессов фотосинтеза по параметру R сохраняются на весеннем уровне. Осенью происходит увеличение значений R параметра в 2 раза, а S параметр продолжает снижаться. Результаты по R и S параметру, полученные для стороны дерева, обращенной к югу, описываются параболической зависимостью. Аналогичные закономерности изменений во времени для сторон деревьев, обращенных к северу и югу, проявляются также в параметре N_{av} . Снижение скорости световых реакций (S) для стороны дерева, обращенной к северу, сопровождалось уменьшением количества выделяемого кислорода (N_{av}), это позволяет фиксировать стрессовую реакцию.

Solidago canadensis. Первые измерения были выполнены в начале вегетации золотарника канадского (рис. 6). Изменения во времени значений параметров S и N_{av} согласуются и описываются периодической зависимостью. Рост значений параметров происходит в начале периода вегетации и после фазы цветения. Обратные тенденции характерны R в начале и конце периода вегетации, что позволяет фиксировать реакцию стресса. По исходным значениям в эти периоды фиксируем увеличение в 2—3 раза скорости процессов выделения кислорода в темновых реакций, этот же результат по исходным данным характерен для периода цветения.

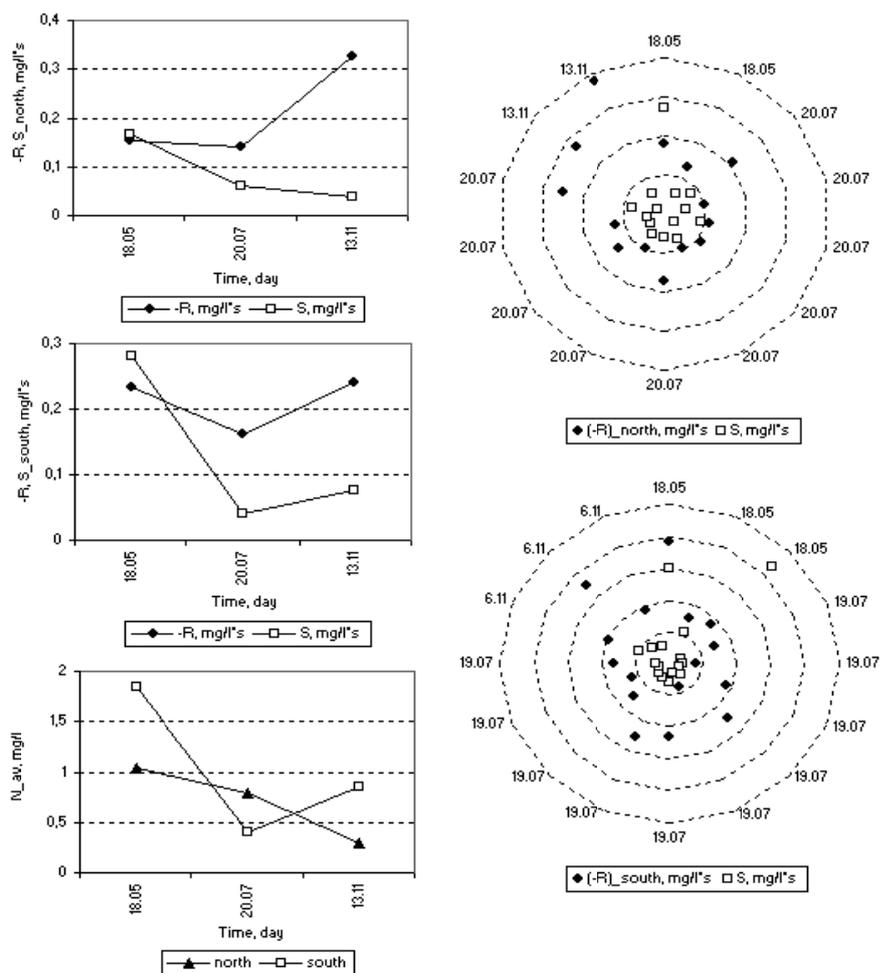


Рис. 5. Результаты эксперимента с *Pinus sylvestris* L.

Результаты эксперимента позволяют выделить реакцию нормы по изменению средних значений параметров R, S, N_{av} в течение вегетационного периода: для деревьев описывается параболической зависимостью; для луговых многолетних растений — периодическая зависимость. Показано при норме реакции у рассмотренной группы растений изменения параметров R, S, N_{av} происходят синхронно, S и R параметры близки по значению. Реакция стресса происходит с увеличением параметра R в 2—3 раза относительно параметра S, изменения во времени S, N_{av} параметров согласованно. При низовом пожаре наблюдали реакцию случайного стресса, после которого происходит быстрая адаптация. В примере с липой направленным стрессовым фактором, вероятно, стала засуха, которая привела к повреждению листьев и раннему листопаду.

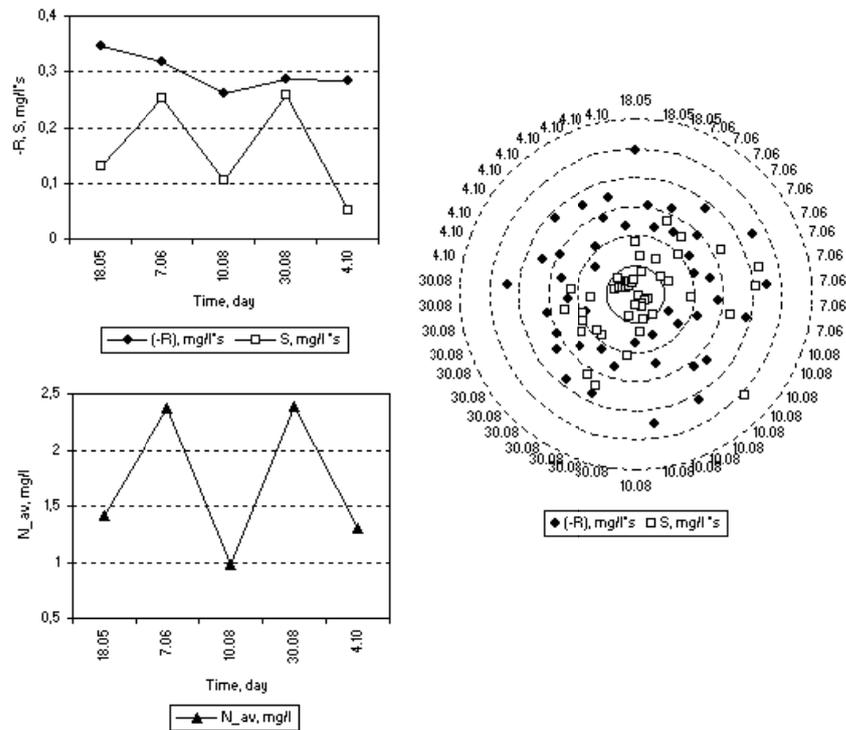


Рис. 6. Результаты эксперимента с *Solidago canadensis*

Обсуждение результатов

Оптимум температур для исследуемых растений, где зафиксирован минимальный разброс в значениях R и S параметров, получен для 25°C . Этот экологический оптимум температур находится между климатическими значениями среднего и абсолютного максимума температур воздуха для метеостанции Берлин/Далем (табл.).

Температуры воздуха (в $^\circ\text{C}$)
для метеостанции Берлин/Далем, май-ноябрь [5].
Средние значения: А — 1961—1990, В — 1991—2005;
значения абсолютных максимумов: С — 1961—1990;
значения абсолютных минимумов: D — 1961—1990

Период	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
A	13,5	16,7	17,9	17,2	13,5	9,3	4,6
B	14,3	16,8	19,1	18,8	14,2	9,3	4,3
C	33,2	35,0	37,8	37,7	34,2	27,5	19,5
D	-2,9	0,8	5,4	4,7	-0,5	-9,6	-16,1

Современная тенденция роста температур воздуха создает локальные вариации климата [1; 4]. Такая климатическая вариация становится фактором стресса для отдельно стоящих деревьев в середине лета (*Betula pendula* Roth, *Tilia platyphyllos* Scop., *Pinus sylvestris* L.), при этом мы наблюдаем увеличение скорости выделения кислорода в темновых реакциях по сравнению со световыми в 2—3 раза ($R>S$). Для водных растений (*Galium palustre* L.) рост температур может стимулировать процессы синтеза ($R<S$).

Исследование представляет ряд экспериментов, позволяющих провести биоиндикацию окружающей среды в Балтийском регионе, учитывая реакцию нормы и стресса растений, возраст растений, температурный фактор, способ отбора пробы для анализа.

Исследование было поддержано программой PRO INNO II, Германия.

Список литературы

1. *Summary* for policymakers and technical summary to the third assessment report of the IPCC. Working Group1. UK, 2001.
2. *Пузаченко Ю.Г., Скулин В.С.* Состав растительности лесной зоны СССР. Системный анализ. М., 1981.
3. *Видякина С.В.* Изменения климата на Европейском Севере. Архангельск, 2004.
4. *Ehleringer J.R., Cerling T.E., Dearing M.D.* A History of atmospheric and its effects on plants, animals, and Ecosystems // Ecological Studies. Springer. USA, 2005. 530.
5. *Heise J.* Change of temperature for the last 15 years in Berlin- Dahlem, 2006. URL: [www. Berliner-Wetterkarte.de](http://www.Berliner-Wetterkarte.de)

Об авторах

Шмидт Светлана Владимировна, кандидат географических наук, докторант, Российский государственный университет им. Иммануила Канта.

Шмидт Христиан, менеджер проектов, ООО «ИННО-Концепт» (Германия)
E-Mail: chr@inno-concept.de

About author

Dr. Svetlana Schmidt, postdoctoral student, IKSUR

Christian Schmidt, project manager, INNO-Conecpet GmbH (Germany)
E-Mail: chr@inno-concept.de