

Динамика фотосинтетических пигментов *Salix alba* L. и *Salix ledebouriana* Trautv. в условиях действия низких доз оксидов азота

Dynamics of photosynthetic pigments of *Salix alba* L. and *Salix ledebouriana* Trautv. under conditions of low doses of nitrogen oxides

Захарова Л. А.

Zakharova L. A.

Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия. E-mail: zakharova1904@mail.ru
Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

Реферат. Хроническое загрязнение атмосферы крупных городов низкими дозами оксидов азота оказывает влияние на физиолого-биохимические показатели листового аппарата, в том числе на содержание фотосинтетических пигментов, обуславливая устойчивость древесных растений. В работе впервые в условиях лабораторного эксперимента, позволяющего варьировать дозу действующего поллютанта на фоне постоянства прочих факторов окружающей среды, смоделировано влияние оксидов азота концентрацией 1,0 и 1,5 единицы максимальной-разовой предельно-допустимой концентрации (ПДК) на побеги текущего года аборигенного вида *Salix alba* и интродуцированного на территорию Новосибирской области вида *Salix ledebouriana*. Характер изменения содержания хлорофиллов в тканях листьев обоих видов в моделируемых условиях загрязнения окружающей среды аналогичен, носит нелинейный характер и соответствует стадии тревоги теории стресса Г. Селье. Вне зависимости от дозы действующего поллютанта, у аборигенного вида *Salix alba* содержание хлорофиллов в тканях листьев всегда меньше, чем у интродуцированного вида *Salix ledebouriana*. Однако, в условиях действия оксидов азота концентрацией 1,5 ПДК содержание хлорофиллов в тканях листьев аборигенного вида *Salix alba* достигает 90 % от фонового уровня, а у интродуцированного вида *Salix ledebouriana* лишь 71 %. Следовательно, аборигенный вид *Salix alba* обладает способностью под действием низких доз оксидов азота изменять физиологические процессы в направлении поддержания концентрации хлорофиллов на уровне близком к фоновому, а значит является более устойчивым.

Ключевые слова. Аборигенный вид, ива, интродуцированный вид, оксиды азота, стресс, устойчивость, хлорофиллы.

Summary. Chronic pollution of the atmosphere of large cities with low doses of nitrogen oxides affects the physiological and biochemical parameters of the leaf apparatus, including the content of photosynthetic pigments, causing the stability of woody plants. In this work, for the first time in a laboratory experiment that allows varying the dose of an active pollutant against the background of the constancy of other environmental factors, we modeled the effect of nitrogen oxides with concentrations of 1.0 and 1.5 units of the maximum single permissible concentration (MPC) on shoots of the current year's native species *Salix alba* and species *Salix ledebouriana* introduced into the territory of the Novosibirsk region. The nature of changes in the chlorophyll content in the tissues of leaves of both species under simulated environmental pollution conditions is similar, nonlinear, and corresponds to the anxiety stage of Selye's stress theory. Regardless of the dose of the active pollutant, the native *Salix alba* species always has a lower chlorophyll content in leaf tissues than introduced *Salix ledebouriana* species. However, under the action of nitrogen oxides with a concentration of 1.5 MPC, the chlorophyll content in the leaf tissues of the native species *Salix alba* reaches 90 % of the background level, and in the introduced species *Salix ledebouriana* only 71 %. Consequently, the native *Salix alba* has the ability, under the influence of low doses of nitrogen oxides, to change physiological processes in the direction of maintaining chlorophyll concentration at a level close to the background, which means it is more stable.

Key words. Chlorophylls, introduced species, native species, nitrogen oxides, resistance, stress, willow.

Введение. Виды рода *Salix* L. рассматриваются многими авторами в качестве перспективных для использования в озеленении крупных промышленных городов в связи с относительно высокой устойчивостью некоторых из них к действию техногенных поллютантов. При этом, в качестве критере-

риев устойчивости используются такие физиолого-биохимические показатели, как потеря тургора (Захарова, 2011), концентрация различных форм серы (Денисова, Алексеенко, 2010) и азота (Барахтенова, Захарова, 2005), фенольных соединений (Денисова, Алексеенко, 2010), хлорофиллов (Захарова, 2021а), пылепоглощительная способность (Денисова, Алексеенко, 2010), зольность (Захарова, 2011). Следует отметить, что содержание фотосинтетических пигментов, как правило, исследуется у растений, произрастающих непосредственно на городской территории, подвергающейся антропогенному загрязнению (Дрожжина, 2017; Костюченко, 2007; Ростунов, Кончина, 2016), что бесспорно вносит определенные сложности в интерпретацию полученных результатов, так как пигменты фотосинтеза являются чувствительными к достаточно широкому спектру экологических факторов (интенсивность освещения, спектральный состав света, влажность, концентрация различных газов и др.), которые учесть и сопоставить практически не возможно. В связи с этим, представляет интерес изучение динамики хлорофиллов в тканях листьев растений в модельном эксперименте в лабораторных условиях, позволяющих варьировать дозу действующего поллютанта на фоне постоянства прочих факторов окружающей среды. Актуальными являются исследования, определяющие характер влияния на растения оксидов азота – распространенного загрязнителя атмосферы крупных промышленных городов, в том числе и г. Новосибирска (О состоянии и ..., 2024). Определение характера изменения содержания хлорофиллов в этих условиях позволит судить о состоянии фотосинтетического аппарата растений, а значит и устойчивости растительного организма в целом.

Цель работы: изучить динамику хлорофиллов в тканях листьев *Salix alba* L. и *Salix ledebouriana* Trautv. под влиянием оксидов азота концентрацией 1,0 и 1,5 единицы максимально-разовой предельно-допустимой концентрации (ПДК).

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны аборигенный вид *Salix alba* и интродуцированный на территорию Новосибирской области вид *S. ledebouriana* (Встовская, 1986). Для эксперимента с растений одного возраста, произрастающих на территории Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук, где наблюдается фоновая концентрация оксидов азота в атмосфере (менее 0,2 ПДК), брали побеги текущего года, средней части кроны, южной экспозиции. Использовали растения на стадии «конец вегетации», поскольку согласно полученным ранее данным (Захарова, 2021б), именно эта стадия развития у некоторых видов указанного рода является наиболее уязвимой. С помощью фумигационной камеры моделировали загрязнение атмосферы, характерное для г. Новосибирска (О состоянии и ..., 2024) – воздействие оксидов азота концентрацией 1,0 и 1,5 единицы ПДК (0,0850 и 0,1275 мг/м³ соответственно) в течение 30 минут. После окончания фумигации растения выставляли на рассеянный свет на 24 часа для более полного проявления повреждений. Биологическая повторность равнялась пяти. Об изменениях морфоструктуры листа судили по количеству листьев побега, потерявших тургор, наличию хлорозов и некрозов. Содержание хлорофиллов в тканях растения определяли фотометрическим методом (Глаз и др., 2005). Аналитическая повторность равнялась трем. Полученные цифровые данные подвергли статистической обработке.

Результаты и обсуждение. Внешние признаки повреждения листового аппарата растений обоих видов в моделируемых условиях загрязнения проявляются в потерях тургора, не превышающих 20 % площади листовой поверхности.

Фоновое содержание хлорофиллов в тканях листьев у аборигенного вида *S. alba* в 1,4 раза меньше по сравнению с интродуцированным видом *S. ledebouriana*. Влияние на исследуемые растения оксидов азота концентрацией 1,0 и 1,5 ПДК сопровождается достоверным изменением содержания хлорофиллов в тканях их листьев. Указанное объясняется тем, что, проникая в мезофилл оксиды азота, будучи кислыми газами, уменьшают величину рН клеточного содержимого, обуславливая превращение хлорофилла в феофитин. На протяжении эксперимента (во всех моделируемых условиях) у аборигенного вида *S. alba* содержание хлорофиллов в тканях листьев остается меньше, чем у интродуцированного вида *S. ledebouriana*. Однако величина указанного показателя у аборигенного вида *S. alba* в условиях фумигации снизилось лишь на 10–20 % по сравнению с фоном (рис. 1), а у интродуцированного вида *S. ledebouriana* – на 30–40 % (рис. 2).

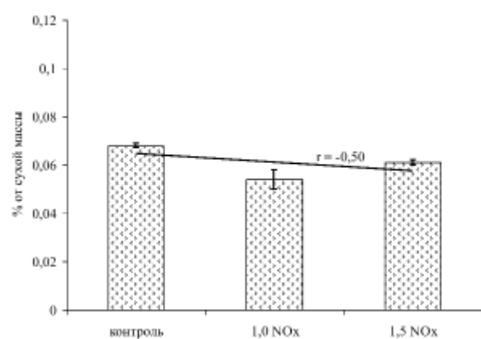


Рис. 1. Зависимость содержания хлорофиллов в тканях листьев аборигенного вида *Salix alba* от концентрации действующих оксидов азота (единицы ПДК): r – коэффициент корреляции между указанными показателями.

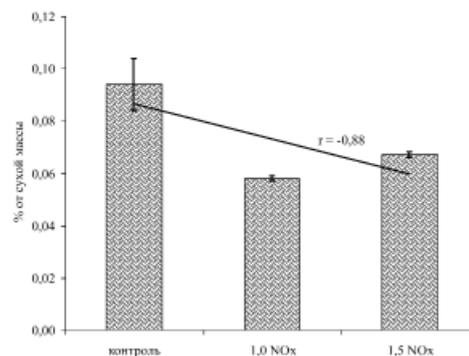


Рис. 2. Зависимость содержания хлорофиллов в тканях листьев интродуцированного вида *Salix ledebouriana* от концентрации действующих оксидов азота (единицы ПДК): r – коэффициент корреляции между указанными показателями.

Учитывая вышеизложенное и тот факт, что в условиях действия оксидов азота концентрацией 1,5 ПДК содержание хлорофиллов в тканях листьев аборигенного вида *S. alba* достигает 90 % от фонового уровня, а у интродуцированного вида *S. ledebouriana* лишь 71 %, можно говорить о том, что аборигенный вид *S. alba* обладает способностью под действием низких доз оксидов азота изменять физиологические процессы в направлении поддержания концентрации хлорофиллов на уровне близком к фоновому.

Направленность изменения содержания хлорофиллов в тканях листьев обоих видов в моделируемых условиях загрязнения окружающей среды аналогична и носит нелинейный характер (см. рис. 1, 2): в результате влияния оксидов азота концентрацией 1,0 ПДК значение исследуемого показателя уменьшается, а под воздействием 1,5 ПДК – возрастает, оставаясь ниже фонового уровня. Согласно теории стресса (Селье, 1972), указанная направленность ответной реакции растений соответствует стадии тревоги (иначе: стадии первичной стрессовой реакции или фазе физиологической депрессии), что свидетельствует о достаточно высокой устойчивости обоих видов к действию низких доз оксидов азота.

Следует отметить, что динамика содержания хлорофиллов в тканях листьев интродуцированного вида *S. ledebouriana* в условиях действия низких доз оксидов азота имеет схожий характер с таковой у интродуцированного вида *Salix kochiana* Trautv., изученного ранее (Захарова, 2021б).

Таким образом, анализ динамики фотосинтетических пигментов аборигенного вида *S. alba* и интродуцированного вида *S. ledebouriana* в условиях действия низких доз оксидов азота свидетельствует о том, что оксиды азота, концентрацией 1,0 и 1,5 ПДК являются фактором уменьшения содержания хлорофиллов в тканях листьев исследуемых видов; направленность указанных изменений носит нелинейный характер и соответствует стадии тревоги теории стресса Г. Селье (1972); аборигенный вид *S. alba* является более устойчивым к данному воздействию в сравнении с интродуцированным видом *S. ledebouriana*.

Благодарности. Автор выражает благодарность Н. С. Алёхиной за участие в экспериментальной части работы на этапе определения концентрации хлорофиллов в листьях исследуемых растений.

ЛИТЕРАТУРА

- Барахтенова Л. А., Захарова Л. А.** Изменчивость обмена веществ и повреждаемость аборигенных и интродуцированных видов рода *Salix* L. в условиях аэротехногенного загрязнения // Сибирский экологический журнал, 2005. – Т. 12, № 4. – С. 763–769.
- Встовская Т. Н.** Древесные растения – интродуценты Сибири: *Zonicera – Sorbus*. – Новосибирск: Наука, 1986. – 287 с.
- Глаз Н. В., Казакова Н. И., Уфимцева Л. В.** Методические подходы к выбору условий пробоотбора и оценке содержания хлорофилла в листьях растений кукурузы // Вестник КрасГАУ, 2005. – № 3 (102). – С. 73–77.
- Денисова Е. С., Алексеенко Е. А.** Газопоглотительная способность некоторых древесных растений Западной Сибири // Омский научный вестник, 2010. – № 1 (94). – С. 211–215.
- Дрожжина В. Н.** Изменение показателей фотосинтетического аппарата некоторых видов ив под воздействием промышленных выбросов // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (13–14 апреля 2017 г.). – Киров: Изд-во Вятского гос. ун-та, 2017. – С. 160–163.

Захарова Л. А. Использование зольности в качестве индикационного показателя условий произрастания древесных растений // Биологическая наука и образование в педагогических вузах: Материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. (31 марта–02 апреля 2011 г.). – Т. 7. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного педагогического университета, 2011. – С. 170–172.

Захарова Л. А. Концентрация хлорофиллов в тканях листьев *Salix viminalis* L. и *Salix udensis* Trautv. et Mey. как показатель устойчивости растений в условиях действия сернистого газа // Теоретические и прикладные аспекты естественнонаучного образования: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Чебоксары, 20 мая 2021 г.). – Чебоксары: Изд-во Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева, 2021а. – С. 220–225.

Захарова Л. А. Оксиды азота как фактор изменчивости содержания хлорофиллов в тканях листьев *Salix kochiana* Trautv. на разных стадиях вегетации // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2021б. – № 20–1. – С. 198–202. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2021037>

Костюченко Р. Н. Функциональная активность и структура фотосинтетического аппарата некоторых представителей рода *Salix* в условиях Среднего Приобья // Проблемы региональной экологии, 2007. – № 2. – С. 110–116.

О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2023 году. – Новосибирск, 2024. – 201 с. URL: <https://www.nso.ru/page/2624>

Ростунов А. А., Кончина Т. А. Влияние техногенных загрязнений на физиологические показатели листьев древесных растений на примере г. Арзамаса // Известия иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология, 2016. – Т. 15. – С. 68–79.

Селье Г. На уровне целого организма. – М.: Наука, 1972. – 122 с.