

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗДУХА МИНСКА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПИГМЕНТЫ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, КАК КЛЮЧЕВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ФОТОСИНТЕЗА

В. В. Махнач

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь, mahnachv@bsu.by

Статья посвящена исследованию экологического состояния воздуха в Минске и его влиянию на пигменты хвои обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которые играют ключевую роль в процессе фотосинтеза. В ходе исследования анализируются уровни загрязняющих веществ в атмосфере города и их воздействие на содержание хлорофилла и каротиноидов в хвое. Результаты показывают, что ухудшение качества воздуха негативно сказывается на фотосинтетических процессах, что может привести к снижению жизнеспособности городских экосистем. Данное исследование подчеркивает важность мониторинга экологической ситуации для сохранения здоровья зеленых насаждений и устойчивости экосистем.

Ключевые слова: экологическое состояние воздуха; Минск; пигменты хвои; фотосинтез; загрязнение окружающей среды; хлорофилл; каротиноиды.

Введение. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), являясь важной частью городской экосистемы Минска, играет ключевую роль в поддержании биологического разнообразия флоры города. Эти растения не только обеспечивают укрытие и пищу для различных животных, но и активно участвуют в процессе фотосинтеза, преобразуя солнечную энергию в кислород и органические вещества, что особенно важно для городских условий.

Пигменты, содержащиеся в хвое сосны, такие как хлорофилл и каротин, способствуют эффективному поглощению света и защите растений от стресса, вызванного загрязнением и изменениями в экосистеме. Хлорофилл отвечает за фотосинтетические процессы, а каротин помогает растениям адаптироваться к условиям городской среды. Изучение пигментов хвои сосны обыкновенной в контексте Минска не только углубляет наше понимание фотосинтеза, но и подчеркивает значимость этих растений для устойчивости городской экосистемы и здоровья ее жителей.

Материалы и методы исследований. Фактический материал для исследования был получен в результате комплекса биоиндикационных наблюдений, самостоятельно осуществленных автором в 2022-2023 гг. в

районах г. Минска, отличающихся различной урбоэкологической нагрузкой. Объект наблюдений хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), собранная в различных частях города.

Обследовано 500 деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лабораторной изучено 1600 проб. Лабораторное исследование проводилось в учебной лаборатории геоэкологических исследований БГУ. Для точности взвешивания использовались аналитические весы Ohaus PA214. Для анализа определения содержания хлорофилла *a*, *b* и *a+b* и каротиноидов *b* использовался спектрофотометр PV 1251 (Госреестр СИ РБ № 14324 с действующим сертификатом). В качестве растворителя и контроля использовался чистый спирт (96 %). Для нейтрализации клеточного сока использовался карбоната кальция (CaCO₃ ОСЧ). Подробности методики и анализа описаны в работе под авторством Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. 2003 [1], Хайрулина Т.П., 2015 [2, с. 101-105]. Сбор хвои для спектрометрии проводился в феврале-марте 2023 года.

Результаты и их обсуждение. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является одним из распространенных видов деревьев в Беларуси, включая Минск. Она хорошо адаптируется к различным условиям и играет важную роль в экосистемах. Сосна занимает лидирующее место в насаждениях лесных массивов внутри Минска, парков и вдоль Минской кольцевой автодороги.

Сосны эффективно очищают воздух, поглощая углекислый газ и выделяя кислород за счет большой площади кроны. Они также задерживают пыль и другие загрязняющие вещества. Также сосны создают среду обитания для различных видов животных и растений, способствуя поддержанию биоразнообразия в городских лесах и парках.

Сосна обыкновенная относительно устойчива к загрязнению воздуха, что делает ее подходящим деревом для посадки в городских условиях. В Минске сосны часто используются в озеленении парков и скверов, что способствует улучшению качества жизни горожан. Несмотря на свои преимущества, сосны могут страдать от заболеваний, вызванных вредителями и грибами, особенно в условиях городской среды с высоким уровнем стресса.

Пигменты хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) играют важную роль в процессе фотосинтеза и защите растения от стресса. Основные пигменты, содержащиеся в хвое сосны, включают: хлорофиллы (*a* и *b*), каротиноиды и антоцианы.

К основной функции пигментов относятся: фотосинтез: хлорофиллы (*a* и *b*) поглощают свет для синтеза органических веществ; защита: каротиноиды помогают защищать клетки от повреждений, вызванных избытком света и окислительным стрессом; устойчивость к стрессам: пигменты

могут играть роль в адаптации сосны к неблагоприятным условиям, таким как засуха или низкие температуры. Хлорофилл *a* более распространен и поглощает свет в красной и синей областях спектра.

Хотя антоцианы не являются основными пигментами хвои, они могут присутствовать в некоторых случаях и придавать хвое красноватый оттенок. Эти пигменты также защищают растения от ультрафиолетового излучения.

Фотосинтетическая эффективность сосны обыкновенной зависит от соотношения различных пигментов и условий окружающей среды.

В условиях высокой освещенности сосна может увеличивать содержание каротиноидов, что помогает снизить риск фотодеструкции. Это позволяет растению эффективно использовать солнечную энергию без ущерба для здоровья.

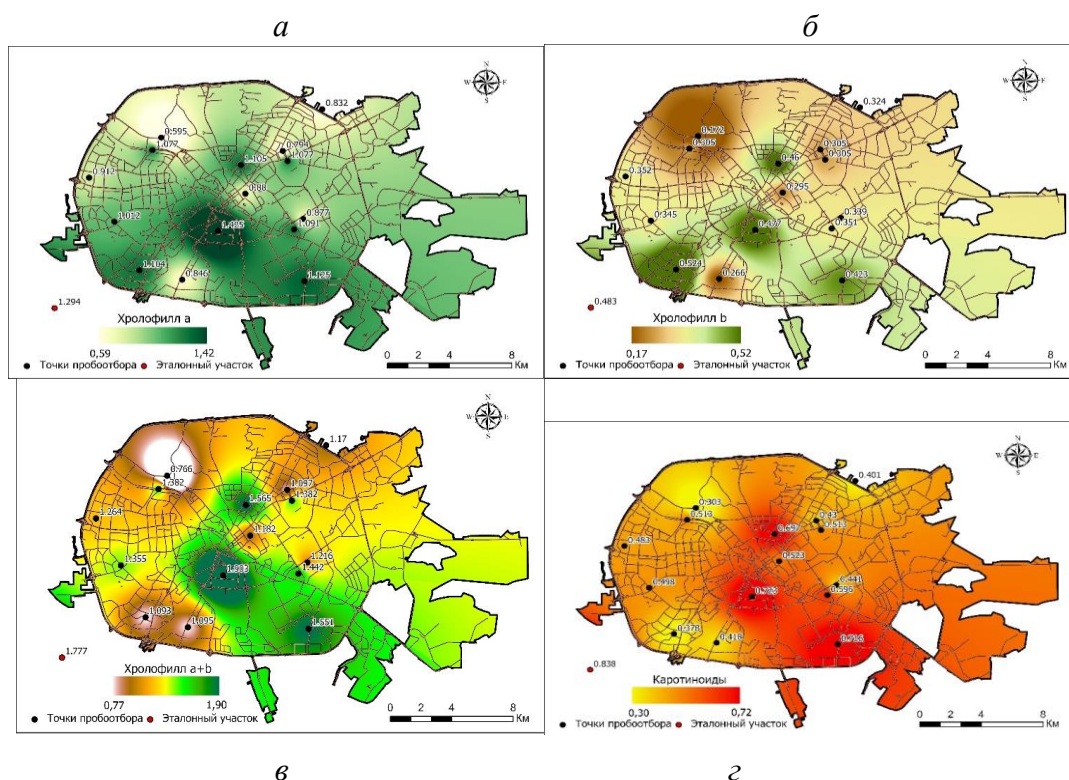
Хлорофиллы и каротиноиды также играют важную роль в адаптации к температурным изменениям. При высоких температурах сосна может изменять свои фотосинтетические пути, что позволяет ей сохранять эффективность фотосинтеза даже в стрессовых условиях.

Пигменты хвои сосны обыкновенной способствуют ее выживанию в различных экосистемах. В условиях ограниченного водоснабжения сосна может увеличивать содержание каротиноидов, что помогает защитить клетки от окислительного стресса и способствует удержанию влаги. Антоцианы, хотя и менее распространены, могут защищать хвою от вредного воздействия ультрафиолетового света, что особенно важно для растений, растущих на открытых пространствах. Пигменты также помогают сосне адаптироваться к различным почвенным условиям. Например, в бедных питательными веществами почвах сосна может оптимизировать свои фотосинтетические процессы для максимального использования доступных ресурсов.

При анализе карт-схем содержания пигментов (рисунок) видно, чем ближе к источнику загрязнения, тем больше падает количество содержания пигмента. На территории города Минска, видны места антропогенного преобразования (Парк имени 900-летия города Минска, бульвар Толбухина, лесопарк «Зеленый Луг»), принято считать, что в идеале соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* должно находиться в соотношении 1:2. Наблюдается уменьшение содержания не только хлорофилла *a*, но и хлорофилла *b*, по сравнению с эталонным участком д. Озерцо.

Полученные данные об изменениях отношений основных групп фоторецепторных пигментов свидетельствуют о воздействии атмосферного загрязнения на биосинтез пигментов. Главной причиной снижения содержания хлорофиллов в присутствии тяжелых металлов является подавление их синтеза, связанное в первую очередь с непосредственным

действием металлов на активность ферментов биосинтеза. Кроме того, нарушение синтеза хлорофилла в присутствии тяжелых металлов может быть вызвано вытеснением ими ионов Mg^{2+} из молекулы хлорофилла. Некоторые металлы, например, Cu , в больших концентрациях замедляют связывание молекул хлорофиллов с белками в светособирающих комплексах фотосистем. Кроме того, известно, что тяжелые металлы способны изменять функционирование мембран хлоропластов и ингибировать работу белков фотосистемы.



Карты-схемы содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в г. Минске:

a – содержание хлорофилла *a*; *б* – содержание хлорофилла *b*;
в – содержание хлорофилла *a+b*; *г* – содержание каротиноидов

Следует отметить, что изменение содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, их суммарного количества и концентрации каротиноидов по мнению некоторых авторов находится в корреляции с изменением концентрации углекислого газа в атмосфере. Известна зависимость содержания пигментов хвои, в частности хлорофилла, от температуры почвы и других почвенных характеристик [3].

Вышеизложенные данные осложняют сравнительный анализ пигментации хвойных и требуют привлечения методов контроля и иных биоиндикаторов.

Заключение. Экологическое значение пигментов сосны обыкновенной невозможно переоценить. Они не только способствуют эффективному фотосинтезу, но и обеспечивают адаптацию растения к различным условиям окружающей среды. Понимание этих процессов имеет важное значение для сохранения экосистем и управления лесными ресурсами. Сосна обыкновенная, благодаря своим уникальным пигментам, продолжает оставаться важным компонентом многих экосистем, обеспечивая устойчивость экосистем и выступает важным биоиндикатором в геоэкологических и биогеографических исследованиях.

Библиографические ссылки

1. *Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В.* Большой практикум по фотосинтезу: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 510600 «Биология» и специальностям 011600 «Биология», 012000 «Физиология» / Под ред. проф. И. П. Ермакова. М. : Издательский центр «Академия», 2003. 256 с.
2. *Хайрулина Т. П.* Лабораторный практикум по методам экологических исследований: учебное пособие. Благовещенск : ДальГАУ, 2015. 143 с.
3. Островные боры Южного Урала и Зауралья в контексте климата и геоморфологических условий. // Л. И. Агафонов [и др.] // Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски. Материалы международной конференции. Красноярск, 16–20 сентября 2024 г. Красноярск : ИЛ СО РАН, 2024. С. 12-13.