

УДК 57.044

Оценка содержания пигментов фотосинтеза у растений разных видов в условиях антропогенного стресса

¹Петухов А.С., ¹Хритохин Н.А., ¹Петухова Г.А.

¹ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, e-mail: revo251@mail.ru

Высокий уровень промышленного производства приводит к поступлению в окружающую среду поллютантов, которые могут накапливаться в растениях и влиять на их жизнедеятельность. В связи с этим актуальной задачей является анализ фотосинтетической активности растений, произрастающих в городских условиях. Работа посвящена изучению изменения содержания пигментов фотосинтеза у растений из районов техногенного загрязнения г. Тюмени. Исследования проводили на мятлике луговом (*Poa pratensis*), клевере красном (*Trifolium rubens*), мышином горошке (*Vicia cracca*), ромашке (*Matricaria chamomilla*), мать-и-мачехе (*Tussilago farfara*) и овсе посевном (*Avena sativa*). Растения были отобраны в районе автотрассы, а также в районах металлургического, моторостроительного, нефтеперерабатывающего и аккумуляторного заводов. Было обнаружено, что в растениях из районов вблизи промышленных предприятий содержание пигментов снижается до 40% по сравнению с контрольным уровнем, а отношение хлорофилла а/б уменьшается до 30%. Изученные растения обладают различной чувствительностью к загрязнению в районах исследования: наибольшей - мать-и-мачеха, а наименьшей – ромашка. Предприятиями токсиканты которых оказывают наибольшее пагубное влияние на содержание пигментов фотосинтеза, стали металлургический и нефтеперерабатывающий заводы. Действие выхлопных газов автомобилей на содержание пигментов было слабо выраженным.

Ключевые слова: пигменты фотосинтеза, тяжелые металлы, мать-и-мачеха, мышиный горошек, клевер красный, мятлик луговой, ромашка, овес посевной.

Assessment of photosynthetic pigments content in plants of various species grown under anthropogenic stress

¹Petukhov A.S., Khritokhin N.A., Petukhova G.A.

¹University of Tyumen, Tyumen, e-mail: revo251@mail.ru

High industrial level leads to environmental contamination with pollutants, which can accumulate in plants and influence on their vital functions. Therefore the analysis of the photosynthetic activity of plants, grown in urban conditions, is an urgent task. This study is devoted to research of changes in plants photosynthetic pigments content from areas with anthropogenic pollution in Tyumen. The investigation was conducted on meadow grass, red clover, wild vetch, chamomile, coltsfoot and cultivated oat. Plants were collected from highway area and from areas with metallurgical, motor building, oil refinery and accumulator factories. It was discovered that in plants from areas with industrial enterprises pigments concentration reduced down to 40% compared to control level. Chlorophyll a/b ratio decreased down to 30%. Researched plants had the various sensitivity to pollution in investigated areas: the most sensitive species was coltsfoot, the least – chamomile. Factories, influenced the most harmfully to photosynthetic pigments were metallurgical and oil-refining. Effect of automobiles exhaust gases on pigments concentration was expressed weakly.

Keywords: photosynthetic pigments, heavy metals, coltsfoot, wild vetch, red clover, meadow grass, chamomile, cultivated oat

Введение

В настоящее время в связи с бурным развитием промышленного производства возрастает антропогенная нагрузка на окружающую среду. Промышленные предприятия и автотранспорт выбрасывают в атмосферу, воду и почву большое количество различных токсикантов: выхлопные газы, инсектициды и пестициды, соединения тяжелых металлов, нефтепродукты и другие. Накопление загрязнителей в окружающей среде приводит к их

поглощению растениями, что, безусловно, сказывается на качестве и безопасности растительного сырья [3, 8].

В связи с этим существует необходимость проводить биоиндикацию городской среды путем анализа произрастающих растений. Одним из показателей жизнедеятельности растений, чувствительным к изменениям экологической обстановки является содержание пигментов фотосинтеза [2]. Из литературы известно о негативном воздействии загрязнителей на процесс фотосинтеза, которое проявляется в снижении содержания фотосинтетических пигментов [1].

Целью работы стала оценка изменения содержания пигментов фотосинтеза в растениях из районов г. Тюмени с различной антропогенной нагрузкой.

Материал и методы исследования

Материал для исследования был отобран в период с 21.07.2017 по 5.08.2017 в районе города Тюмени на следующих участках:

- 1) Контроль – луг на удалении 5 километров от антропогенных источников;
- 2) УГМК – г. Тюмень, участок на удалении 200 метров от предприятия «УГМК-Сталь»;
- 3) УГМК 2 – г. Тюмень, участок на удалении 50 метров от предприятия «УГМК-Сталь»;
- 4) Моторостроители – г. Тюмень, участок на удалении 200 метров от предприятия «Тюменские Моторостроители»;
- 5) НПЗ – г. Тюмень, участок на удалении 200 метров от предприятия Антипинского нефтеперерабатывающего завода;
- 6) Район Аккумуляторного завода, г. Тюмень, участок на удалении 200 метров от предприятия;
- 7) Автотрасса Тюмень – Омск – район п. Винзили, 30 км от г. Тюмени, удаление от автотрассы не более 30 метров;
- 8) Автотрасса Ирбитский тракт – район села Каменка, 30 км от г. Тюмени, удаление от автотрассы не более 5 метров;
- 9) Автотрасса Ирбитский тракт – район села Каменка, 30 км от г. Тюмени, удаление от автотрассы не менее 500 метров.

Была срезана надземная часть растений с 5 площадок на каждом участке. На участках 1-5, 7 были отобраны 5 видов растений: мятлик луговой (*Poa pratensis*), клевер красный (*Trifolium rubens*), мышиный горошек (*Vicia cracca*), ромашка (*Matricaria chamomilla*), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*). На участке 6 ромашка не была обнаружена. На участках 8 и 9 был отобран овес посевной (*Avena sativa*). Выбор растений был обусловлен широким

распространением данных видов в районах исследования. Кроме того, из литературы известна чувствительность мать-и-мачехи на биохимическом уровне к экологическим условиям [5]. Растения были высушены, а затем проводился анализ содержания в них пигментов фотосинтеза спектральным анализом спиртовых экстрактов [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В районах исследования, где к промышленным предприятиям прилегает автотрасса, было вычислено количество автомобилей, результаты представлены в таблице. Подсчет автотранспорта производился в середине рабочего дня.

Таблица 1

Количество автотранспорта в районах исследования

Район исследования	Легковой транспорт, количество/ч	Грузовой транспорт, количество/ч
УГМК, УГМК 2	984	140
Автотрасса Тюмень-Омск	420	276
Автотрасса Ирбитский тракт	324	60

Таким образом, загрязнение окружающей среды от предприятия УГМК усиливалось значительным потоком автотранспорта: за час в этом районе проходило более 1000 автомобилей.

Результаты определения содержания пигментов фотосинтеза в растениях из районов из исследования представлены на рис. 1-3. Содержание пигментов фотосинтеза изменялось в пределах от 130 до 400 мг/100 г сухой массы в зависимости от вида растения и района исследования. В первую очередь, необходимо отметить, что практически во всех пробах из исследуемых участков, за исключением нескольких случаев, содержание хлорофилла а, b и каротиноидов оказалось ниже, чем в контрольном варианте. Уменьшение содержания пигментов фотосинтеза и, следовательно, подавление процесса фотосинтеза, безусловно, связано с антропогенной деятельностью и, вероятно, накоплением тяжелых металлов и/или нефтепродуктов в растениях из районов исследования. Известно о негативном воздействии накопления нефтепродуктов на процесс фотосинтеза [4].

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 II [7].

Величина снижения содержания пигментов зависела как от участка исследования, так и от вида растения. Так, самым чувствительным растением к загрязнению окружающей среды в проведенном эксперименте оказалась мать-и-мачеха, снижение содержания пигментов было наибольшим среди всех исследованных видов растений и достигало 30-40%.

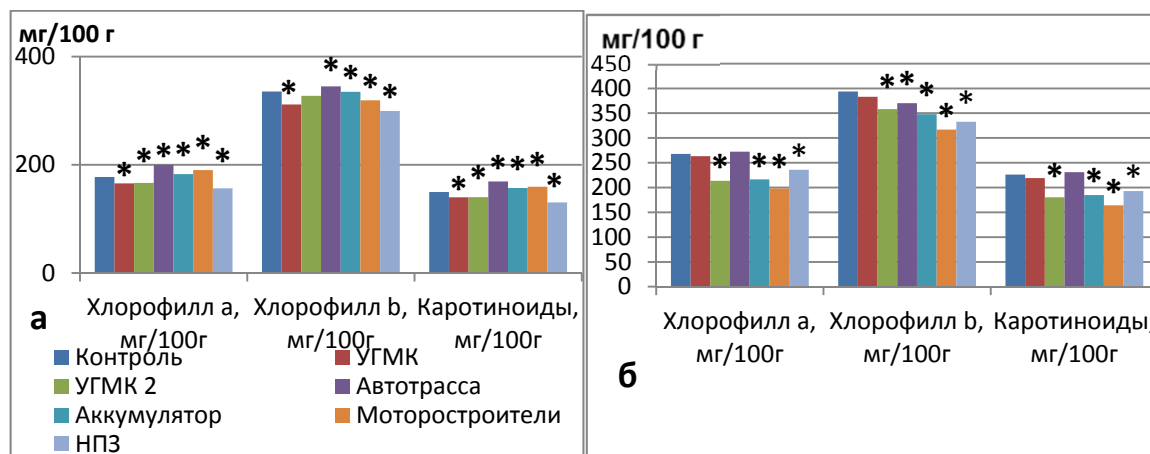


Рис. 1. Содержание пигментов фотосинтеза (мг/100 г) в мятлике луговом (а) и мышином горошке (б) из районов исследования

*- статистически достоверные различия между контролем и вариантом опыта (при $P \leq 0,05$)

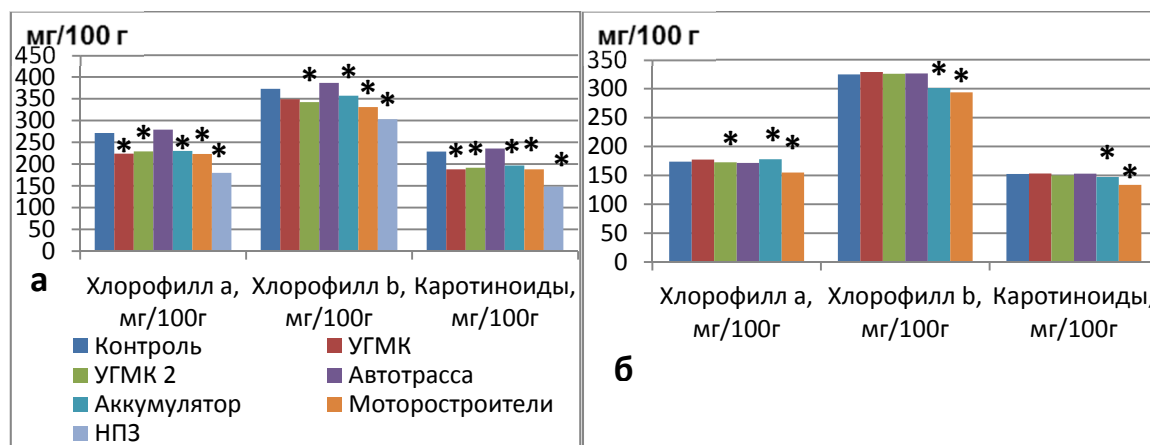


Рис. 2. Содержание пигментов фотосинтеза (мг/100 г) в клевере красном (а) и ромашке (б) из районов исследования

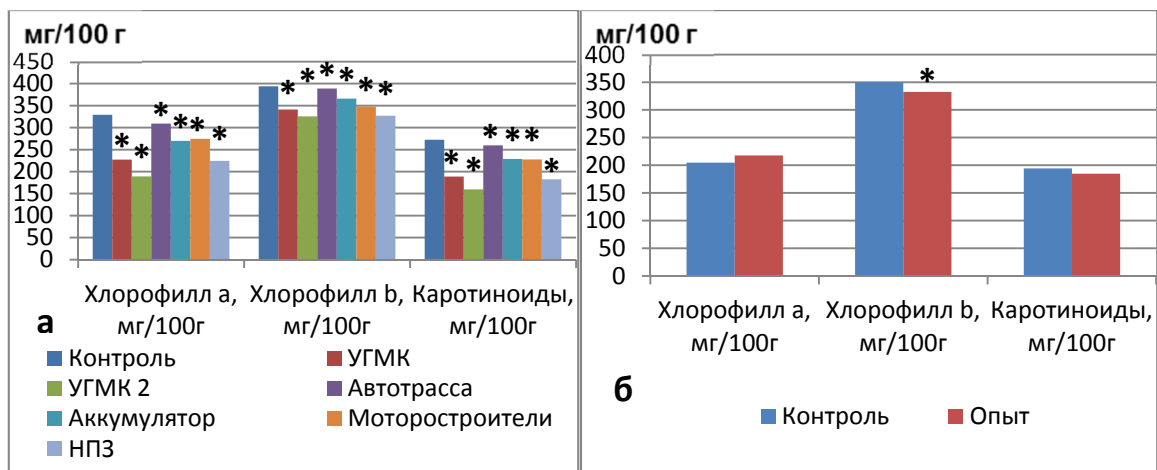


Рис. 3. Содержание пигментов фотосинтеза (мг/100 г) в мать-и-мачехе (а) и овсе посевном (б) из районов исследования

Следующим видом по чувствительности оказался клевер красный, снижение содержания пигментов фотосинтеза было зафиксировано на 20-35% по сравнению с контролем. Растениями с меньшей чувствительностью были мышиный горошек (снижение по сравнению с контролем не более 26%) и мятлик луговой (снижение на 10-12%). Самым нечувствительным растением оказалась ромашка, наибольшее снижение содержания пигментов по сравнению с контролем было зафиксировано в 8-12%, но при этом в большинстве вариантов отклонения от контроля не было выявлено. Различная чувствительность растений к загрязнению может быть связана с разным уровнем функционирования в них антиоксидантных систем и других защитных механизмов.

Разные виды растений проявляли различную чувствительность к загрязнению на одном и том же участке, что делает обобщение результатов затруднительным. Однако если ориентироваться по мать-и-мачехе, как самому чувствительному растению, то самыми загрязненными участками являются металлургический и нефтеперерабатывающий заводы (УГМК и НПЗ), что указывает на пагубное влияние накопления тяжелых металлов и нефтепродуктов на содержание пигментов фотосинтеза. На ромашку, как самое нечувствительное из изученных растений, также наибольшее влияние оказывало загрязнение в районе НПЗ. Кроме того, было зафиксировано небольшое снижение показателей на участке завода «Моторостройтели». Клевер красный и мятлик луговой также были наиболее чувствительными к участку нефтеперерабатывающего завода. Исключением стал мышиный горошек, для которого наиболее загрязненными участками стали «Моторостройтели», а также УГМК и аккумуляторный завод. Полученные результаты, вероятно, указывают на существенный вклад тяжелых металлов и нефтепродуктов в подавлении процесса фотосинтеза.

Эффект загрязнения от автотрассы практически не сказался ни на одном из изученных видов. В эксперименте с овсом посевным содержание хлорофилла а и каротиноидов в растениях, росших в непосредственной близости к автодороге, было на уровне контрольных растений, а содержание хлорофилла b было снижено всего на 5%. Наибольшее снижение содержания пигментов (на 6%) в районе автотрассы было выявлено у мать-и-мачехи. Для клевера, ромашки и мышиного горошка содержание пигментов в районе автотрассы было на уровне контроля, а у мятлика лугового содержание хлорофилла а и каротиноидов оказалось на 12% выше, чем в контроле. Также была выявлена некоторая активация процесса фотосинтеза у мятлика лугового в районах аккумуляторного завода (содержание хлорофилла а и каротиноидов было выше на 3%) и завода «Моторостроители» (на 6%). Известно, что в небольших дозах токсиканты способны стимулировать жизнедеятельность растений [2], в том числе фотосинтез, вероятно, этим обусловлены полученные результаты.

Содержание пигментов фотосинтеза на участке УГМК 2, находящегося на удалении 50 метров от предприятия, для мать-и-мачехи и мышиного горошка было на 10-20% ниже, чем на участке УГМК, находящегося на удалении 200 метров от предприятия. Это, вероятно, может указывать на воздушный перенос токсикантов в виде аэрозоля с предприятия металлургического завода.

Изучение содержания пигментов фотосинтеза в растениях из участков с различной антропогенной нагрузкой может указывать на накопление тех или иных металлов. Так, у мятлика лугового, относящегося к семейству злаковых, было зафиксировано повышение содержания пигментов в районе автотрассы. В ранее проведенном модельном эксперименте с использованием овса посевного было показано, что при загрязнении почвы Pb в количестве 260 мг/кг содержание пигментов увеличивается до 1,5 раз. Учитывая родственность данных видов, можно предположить, что в районе автотрассы в тканях мятлика происходит аккумуляция свинца. Кроме того, на участках УГМК и УГМК 2 у мятлика лугового было выявлено снижение содержания пигментов, что также коррелирует с результатами модельного эксперимента с загрязнением почвы Fe [9]. Поэтому можно выдвинуть гипотезу о накоплении Fe в тканях мятлика, выросшего в районе металлургического завода.

Уменьшение отношения содержания хлорофиллов а/b считается показателем стресса растения [2]. В нашем эксперименте это также было зафиксировано на примере мать-и-мачехи: отношение хлорофилла а/b снижалось во всех вариантах эксперимента от 6% (автотрасса) до 30% (УГМК 2), что указывает на то, что мать-и-мачеха в районах исследования находилась под влиянием антропогенного стресса. Аналогичный результат был получен с клевером красным (снижение отношения хлорофилла а/b до 18%) и мышиным горошком (снижение до 12%). В случае мятлика лугового и ромашки, несмотря на снижение

содержания пигментов, отношение хлорофилла a/b в большинстве случаев было на уровне контроля, что может быть защитным механизмом растений.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1) Антропогенное загрязнение от предприятий г. Тюмени приводит к снижению содержания хлорофилла a, b и каротиноидов до 40% по сравнению с контрольным уровнем.

2) Изученные виды растений проявляют различную чувствительность фотосинтетического аппарата по отношению к загрязнению, чувствительность растения убывает в следующем ряду: мать-и-мачеха > клевер красный > мышиный горошек > мятлик луговой > ромашка. Это указывает на преимущество использования мать-и-мачехи как биоиндикатора.

3) Среди исследованных районов выделяются участки металлургического и нефтеперерабатывающего заводов, содержание пигментов фотосинтеза в растениях из этих районов было наименьшим. Действие только автотрассы без промышленных предприятий было слабо выраженным, максимальное снижение содержания пигментов на 6%.

4) Для мать-и-мачехи, клевера красного и мышиного горошка было зафиксировано снижение соотношения хлорофилла a/b, что является проявлением стресса. У мятлика лугового и ромашки, несмотря на снижение содержания пигментов, соотношение хлорофиллов практически не изменяется, что указывает на защитные механизмы растений в ответ на антропогенный стресс.

Список литературы

1) Еськова Е.Н. Влияние свинца на содержание хлорофилла в листьях ярового ячменя / Е.Н. Еськова // Проблемы современной аграрной науки. - 2015. – С. 21-22

2) Кушнарёва О.П., Перекрестова Е.Н. Влияние различных концентраций солей меди и свинца на содержание хлорофилла и содержание углерода в листьях растений / Е.Н. Перекрестова, О.П. Кушнарёва // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2015. - №10. - С. 294-297

3) Петухова Г.А. Механизмы устойчивости организмов к нефтяному загрязнению среды / Г.А. Петухова. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008. – 172 с.

4) Степаньян О.В., Воскобойников Г.М. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей / О.В., Степаньян, Г.М. Воскобойников // Биология моря. - 2006. - №4. - С. 241-248

5) Фазлиева Э.Р., Киселева И.С. Биохимические реакции растений *tussilago farfara* L. Из природных местообитаний с разным уровнем техногенного загрязнения на избыток

меди в среде / Э.Р. Фазлиева, И.С. Киселева // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. - 2011. - №3. – С. 246-256

6) Шульгин И.А., Ничипорович, А.А Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И.А. Шульгин, А.А. Ничипорович // Хлорофилл. – Минск: Наука и техника. - 1974. – С. 127-136.

7) Aggarwal, A., Sharma, I., Tripathi, B.N., Munjal, A.J., Baunthiyal, M., Sharma, V. Metal toxicity and photosynthesis. Photosynthesis: Overviews on Recent Progress & Future Perspective, 2011, pp. 229-236

8) Markovnikova J., Barancikova, G., Dlapa P, Dercova K. 2006. Inorganic contaminants in soil ecosystems. Chemicke listy, 2006, vol. 100, no.6, pp. 424-432

9) Petukhov A., Khritokhin N., Petukhova G, Kudryavtsev, A. Biochemical response of the oat to accumulation of iron and manganese. Pollution research, 2017, vol. 36, no. 1, pp. 1-7.