



DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-82-90

УДК 57.044

## ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

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

Тюменский государственный университет  
Российская Федерация, 625003, Тюмень, ул. Переконская, 15а

В настоящее время остро стоит проблема загрязнения окружающей среды. Накопление тяжелых металлов растениями приводит к биохимическим нарушениям в клетках. Удобным показателем для оценки степени повреждения клеток растений на биохимическом уровне является содержание продуктов перекисного окисления липидов. Целью работы было исследование содержания диеновых конъюгатов и оснований Шиффа в растениях разных видов, произрастающих в городской среде. 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 реакция повреждения клеточных мембран растений в условиях городской среды была видоспецифичной: для ромашки, мышиного горошка и мятлика лугового наблюдалось накопление продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ). В клетках клевера красного и мать-и-мачехи содержание диеновых конъюгатов и оснований Шиффа было снижено. Наибольшее влияние на процесс перекисного окисления липидов оказывает загрязнение от металлургического завода, в меньшей степени воздействует нефтеперерабатывающий, моторостроительный и аккумуляторный заводы. Таким образом, показана видоспецифическая реакция растений при исследовании продуктов перекисного окисления липидов, зависящая от источника загрязнения и расстояния от него.

**Ключевые слова:** перекисное окисление липидов, загрязнение окружающей среды, тяжелые металлы, мятлик луговой, клевер красный, мать-и-мачеха, ромашка, мышиный горошек, овес посевной

### ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом антропогенной нагрузки на окружающую среду актуально становится изучение воздействия факторов среды на живые организмы, в частности на растения. Одним из наиболее распространенных и опасных факторов загрязнения среды являются тяжелые металлы (ТМ) [1; 2]. Известно [3], что ТМ способны аккумулироваться в растительных тканях в больших количествах, пагубно действовать на рост и развитие растения, фотосинтез, дыхание, водный обмен растений и другие физиологические процессы. Опасность тяжелых металлов усугубляется их способностью передаваться по трофическим цепям в нарастающих количествах [4]. Исследование механизмов воздействия тяжелых метал-

лов и ответных реакций растений на биохимическом уровне представляет большой интерес.

Одним из наиболее важных биохимических процессов повреждения клеток, проходящего с участием тяжелых металлов, служит ПОЛ. Оно провоцируется избыточным количеством активных форм кислорода (АФК) — супероксидного анион радикала ( $O_2^*$ ), синглетной формы кислорода ( $O_2$ ), гидроксильного радикала ( $OH^*$ ), перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) или свободными радикалами [5]. Основные генераторы АФК — хлоропласты и митохондрии, а также пероксисомы. Основные причины возникновения окислительного стресса в клетках растений в присутствии тяжелых металлов состоят в ингибирующем действии их ионов на скорость электронного транспорта на мембранах хлоропластов и митохондрий, а также подавление активности антиоксидантов ферментной и неферментной природы [6]. Первичные продукты перекисного окисления липидов — диеновые конъюгаты, а конечные — основания Шиффа. Основная опасность процессов ПОЛ для растений заключается в возможности полной утраты мембранами клеток барьерной функции [7].

Соотношение прооксидантных и антиоксидантных процессов в клетках растений, варьируемое в зависимости от условий среды, будет условием нормального функционирования организма, и, в конечном счете, его выживания в окружающей среде [8]. В связи с этим, изучение процессов ПОЛ — актуальная научная задача. Целью работы было исследование содержания продуктов перекисного окисления липидов в растениях разных видов, произрастающих в городской среде.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

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

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 [9]. Растения были высушены, а затем проведен анализ содержания в них диеновых конъюгатов и оснований Шиффа спектральным анализом спиртовых экстрактов. Поглощение диеновых конъюгатов измерялось на длине волны  $\lambda = 233$  нм, а оснований Шиффа на  $\lambda = 365$  нм [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продукты перекисного окисления липидов являются индикатором биохимического повреждения клеток и стрессуемости организма. В проведенном эксперименте было выявлено, что наиболее сильному повреждению в условиях городской среды подвергаются клетки ромашки: содержание оснований Шиффа и диеновых конъюгатов на всех участках исследования было увеличено по сравнению с контролем, как минимум, на 40–60% (рис. 1).

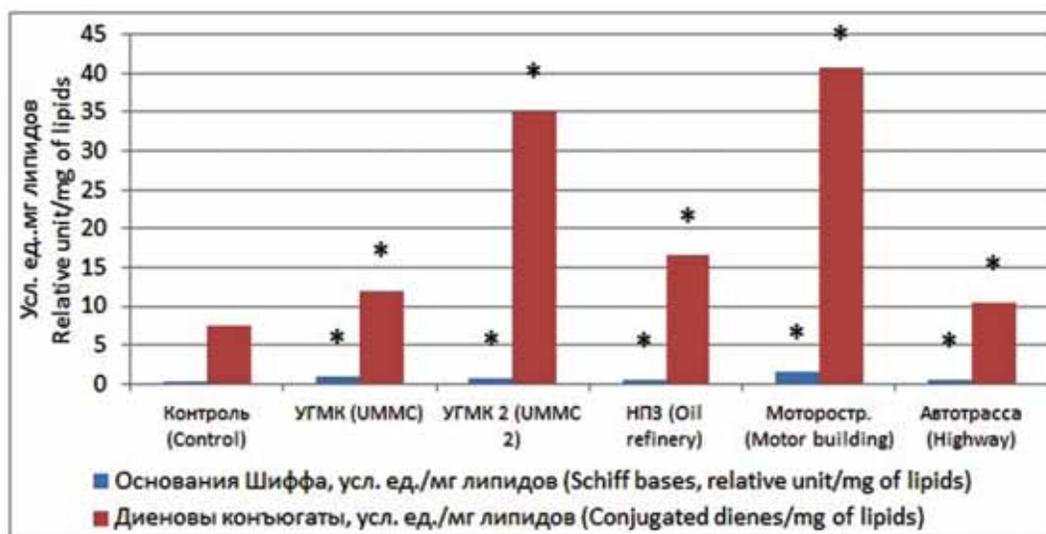


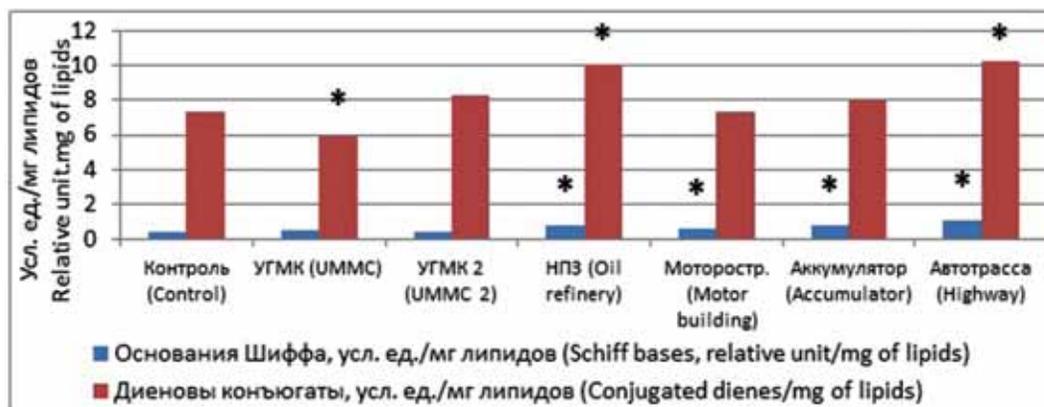
Рис. 1. Содержание продуктов перекисного окисления липидов в клетках ромашки из районов исследования

[Fig. 1. Concentration of lipid peroxidation products in the cells of chamomile from researched areas]

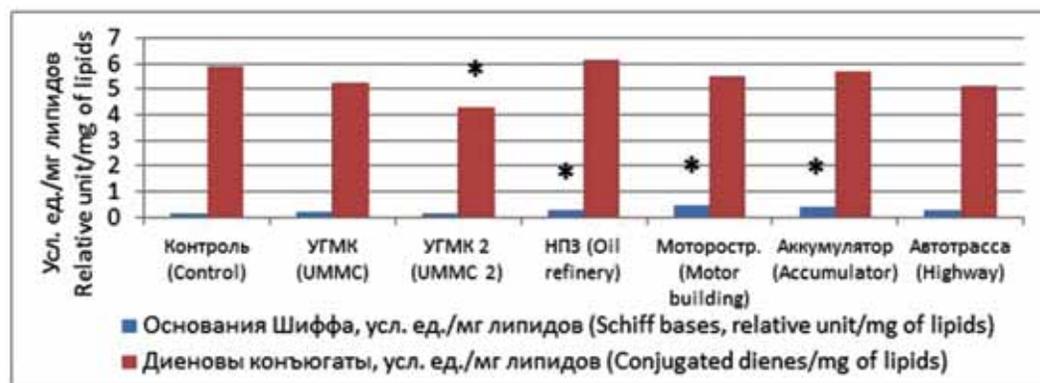
\* Здесь и далее статистически достоверные различия между контролем и вариантом опыта (при  $p \leq 0,05$ ).

Максимальный рост содержания продуктов перекисного окисления липидов был зафиксирован на участках УГМК 2 и Моторостроители: содержание диеновых конъюгатов было повышено в 4,8 и 5,5 раз соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности процессов перекисного окисления, протекающих в ромашке к антропогенному загрязнению.

Кроме ромашки, увеличение содержания продуктов перекисного окисления липидов среди изученных растений было зарегистрировано в клетках мышиного горошка и мятлика лугового (рис. 2, 3). Содержание оснований Шиффа в клетках мышиного горошка было повышено по сравнению с контролем от 1,5 раз (участок Моторостроители) до 2,7 раз (участок автотрассы) (рис. 2). Содержание диеновых конъюгатов в растениях на участках НПЗ, Моторостроители, аккумуляторный завод и автотрасса было также увеличено на 40%. Однако на участках УГМК и УГМК 2 отличие содержания продуктов ПОЛ от контроля выявлено не было, а на участке УГМК содержание диеновых конъюгатов было снижено на 20%.



**Рис. 2.** Содержание продуктов перекисного окисления липидов в клетках мышиного горошка из районов исследования  
**[Fig. 2.** Concentration of lipid peroxidation products in the cells of wild vetch from researched areas]



**Рис. 3.** Содержание продуктов перекисного окисления липидов в клетках мятлика лугового из районов исследования  
**[Fig. 3.** Concentration of lipid peroxidation products in the cells of meadow grass from researched areas]

Содержание оснований Шиффа в клетках мятлика было увеличено на участках НПЗ, Моторостроители и аккумуляторный завод на 70–190% по сравнению с контролем (рис. 3). Содержание диеновых конъюгатов в большинстве случаев не отличалось от контрольного уровня, а на участке УГМК 2 было снижено почти

на 30%. Таким образом, ромашка, мышиный горошек и мятлик луговой подвергаются окислительному стрессу в условиях городской среды, причем величина повреждаемости убывает от ромашки к мятлику луговому.

Увеличение содержания продуктов ПОЛ в клетках ромашки, мышиного горошка и мятлика может связано с аккумуляцией в них тяжелых металлов, которые способны генерировать АФК по реакциям Фентона и Габера-Вейса, а также активировать фермент липоксигеназу [6]. Также ТМ способны связываться с сульфгидрильными, гидроксильными, карбоксильными группами белков и ингибировать функционирование антиоксидантных ферментов. Кроме того, известно, что нефтяное загрязнение, характерное для нефтеперерабатывающего завода, способно активировать процесс перекисного окисления путем ингибирования транспорта электронов в хлоропластах [11].

Другая картина наблюдалась при анализе содержания продуктов ПОЛ в клетках клевера красного и мать-и-мачехи. Содержание оснований Шиффа и диеновых конъюгатов в клетках клевера красного было снижено до 60 и 40% соответственно относительно контроля (рис. 4). В клетках мать-и-мачехи этот эффект был выражен еще сильнее: содержание оснований Шиффа и диеновых конъюгатов было снижено до 70 и 50% относительного контрольного уровня (рис. 5).

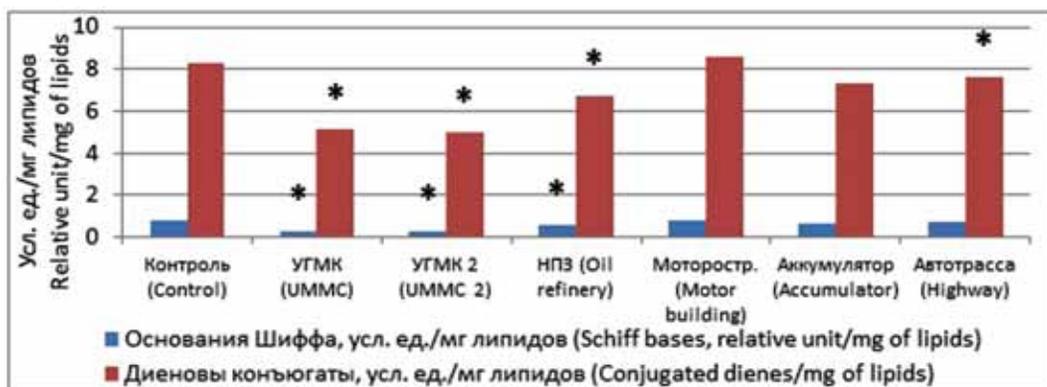
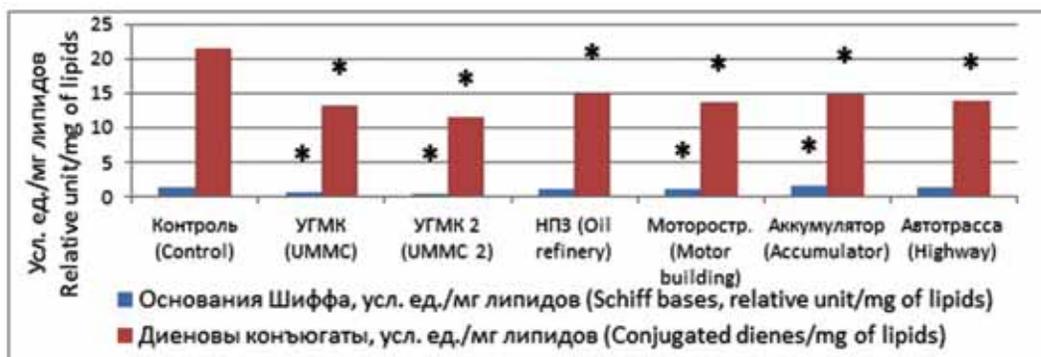


Рис. 4. Содержание продуктов перекисного окисления липидов в клетках клевера красного из районов исследования  
[Fig. 4. Concentration of lipid peroxidation products in the cells of red clover from researched areas]

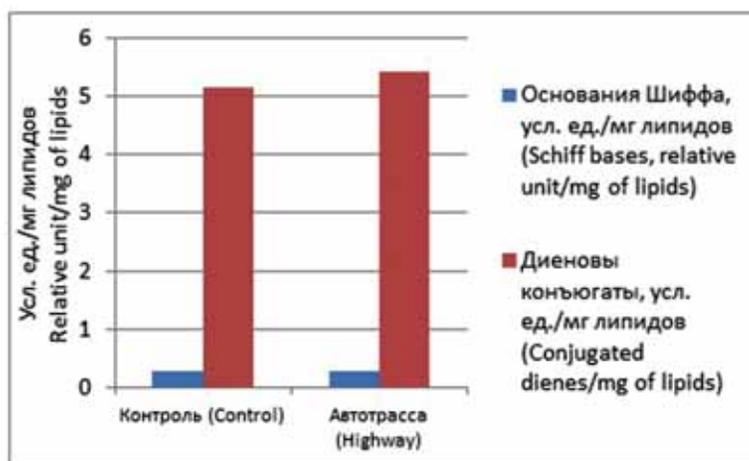
Полученный результат можно объяснить несколькими причинами. Возможно, в условиях стресса антиоксидантные системы клевера красного и мать-и-мачехи успешно активизируются и ликвидируют избыток активных форм кислорода. Растения, произрастающие в районах антропогенного загрязнения, могли выработать механизмы блокирования поступления токсикантов путем их хелатирования в клетках корня или компартментализации в цитоплазме. Кроме того, в изученных участках возможен отбор на генетическом уровне и выживание растений, наиболее приспособленных к данным условиям.

Таким образом, у изученных растений была выявлена видоспецифичность ответных реакций процессов перекисного окисления в условиях антропогенной среды. По степени аккумуляции продуктов ПОЛ растения можно расположить в ряд: ромашка > мышиный горошек > мятлик луговой > клевер красный >

мать-и-мачеха, при этом повышение содержания диеновых конъюгатов и оснований Шиффа относительно контроля было зарегистрировано только у ромашки, мышиного горошка и мятлика лугового. Содержание этих соединений в клетках клевера красного и мать-и-мачехи было ниже, чем в контроле.



**Рис. 5.** Содержание продуктов перекисного окисления липидов в клетках мать-и-мачехи из районов исследования  
**[Fig. 5.** Concentration of lipid peroxidation products in the cells of coltsfoot from researched areas]



**Рис. 6.** Содержание продуктов перекисного окисления липидов в клетках овса посевного из районов исследования  
**[Fig. 6.** Concentration of lipid peroxidation products in the cells of cultivated oat from researched areas]

Из-за видоспецифичности реакции растений на антропогенный стресс выделить среди изученных участков те, загрязнители в которых оказывали наибольшее влияние на процесс перекисного окисления, оказалось затруднительно. Так, к примеру, для ромашки такими участками были УГМК 2 и «Моторостроители», для мышиного горошка — НПЗ, аккумуляторный завод и автотрасса, а для мятлика лугового — «Моторостроители» и аккумуляторный завод. Тем не менее, возможно сделать обобщение, что чаще других участков наиболее сильное влияние оказывало предприятие металлургического завода УГМК (участки УГМК и УГМК 2),

причем как в сторону роста продуктов ПОЛ у ромашки и клевера красного, так и в сторону их снижения у мать-и-мачехи. Необходимо отметить, что действие загрязнителей с участка УГМК 2 (находившегося ближе к заводу) было всегда более выраженным, по сравнению с УГМК. Это можно было предполагать из-за большей вероятности накопления поллютантов в тканях растений вблизи завода.

Также во вторую очередь можно выделить нефтеперерабатывающий, аккумуляторный и моторостроительный заводы, степень влияния поллютантов которых в целом на растительность была приблизительно равна. В меньшей степени на процесс перекисного окисления влияло загрязнение автотрассы. Вероятно, что поскольку большинство промышленных предприятий, так или иначе, находятся в близости автотрасс, то изолированное действие автотрассы оказывается менее выраженным, чем действие комплекса загрязнителей из районов предприятие + автотрасса. Для овса посевного влияние автотрассы на содержание продуктов ПОЛ не было выявлено, содержание оснований Шиффа и диеновых конъюгатов было на уровне контроля (рис. 6).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, реакция повреждения клеточных мембран растений в условиях городской среды была видоспецифичной: для ромашки, мышиного горошка и мятлика лугового наблюдалось накопление продуктов ПОЛ в связи с пагубным действием поллютантов; клевер красный и мать-и-мачеха, вероятно, успешно адаптировались к условиям антропогенного загрязнения, что было зарегистрировано по уменьшенному содержанию диеновых конъюгатов и оснований Шиффа. Наибольшее влияние на процесс перекисного окисления липидов оказывает загрязнение от металлургического завода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Markovnikova J., Barancikova G., Dlapa P., Dercova K.* Inorganic contaminants in soil ecosystems // *Chemické listy*. 2006. Vol. 100. No. 6. P. 424—432.
- [2] *Моцик А., Пинский Д.Л.* Загрязняющие вещества в окружающей среде. Пушино-Братислава: PRIRODA, 1991. 187 с.
- [3] *Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В.* Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.
- [4] *Башкин В.Н., Касимов Н.С.* Биогеохимия. М.: Научный мир, 2004.
- [5] *Владимиров Ю.А.* Свободнорадикальное окисление липидов и физические свойства липидного слоя биологических мембран // *Биофизика*. 1987. Т. 32. № 5. С. 830—844.
- [6] *Skorzynska-Polit E.* Lipid peroxidation on plant cells, its physiological role and changes under heavy metal stress // *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2007. № 74. P. 49—54.
- [7] *Чеснокова Н.П., Понукалина Е.В., Бизенкова М.Н.* Механизмы структурной и функциональной дезорганизации биосистем под влиянием свободных радикалов // *Фундаментальные исследования*. 2007. № 4. С. 110—121.
- [8] *Blokhina O., Virolainen E., Fagersted K.V.* Antioxidants, oxidative stress and oxygen deprivation stress: a review // *Annals of Botany*. 2001. № 91. P. 179—194.
- [9] *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 // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2011. № 3. С. 246—256.

- [10] Шведова А.А., Полянский Н.Б. Метод определения конечных продуктов перекисного окисления липидов в тканях — флуоресцирующих шиффовых оснований / под ред. Е.Б. Бураковой. Исследование синтетических и природных антиоксидантов *in vitro* и *in vivo*. М.: Наука, 1992. С. 72—73.
- [11] Осипова Е.С. Влияние нефтяного загрязнения на биохимические и морфофизиологические показатели растений: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2013. URL: <http://earthpapers.net/vliyanie-neftyanogo-zagryazneniya-na-biohimicheskie-i-morfofiziologicheskie-pokazateli-rasteniy/> (дата обращения: 23.01.2018).

© Петухов А.С., Хритохин Н.А., Петухова Г.А., 2018

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 23.01.2018

Дата принятия к печати: 30.01.2018

#### **Для цитирования:**

Петухов А.С., Хритохин Н.А., Петухова Г.А. Перекисное окисление липидов в клетках растений в условиях городской среды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 1. С. 82—90. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-82-90

#### **Сведения об авторах:**

Петухов Александр Сергеевич — студент Тюменского государственного университета. E-mail: revo251@mail.ru

Хритохин Николай Александрович — кандидат химических наук, доцент, профессор кафедры неорганической и физической химии Тюменского государственного университета. E-mail: kna@utmn.ru

Петухова Галина Александровна — доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры экологии и генетики Тюменского государственного университета. E-mail: gpetuhova1@mail.ru

## **LIPID PEROXIDATION IN PLANTS CELLS UNDER CONDITIONS OF THE URBAN ENVIRONMENT**

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

University of Tyumen  
15a, Perekopskaya str., Tyumen, 625003, Russian Federation

Currently, the problem of environmental contamination is very urgent. Accumulation of heavy metals by plants leads to biochemical disorder in cells. The convenient parameter for estimation of cells membrane damage degree is the concentration of lipid peroxidation products. The aim of this research was to investigate the content of diene conjugates and Schiff bases in plants of various species under conditions of the urban environment. The investigation was conducted with 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 reaction of plants cells membrane damaging was species-specific: chamomile, wild vetch, meadow grass accumulated lipid peroxidation products. The concentration of diene conjugates

and Schiff bases in cells of red clover and coltsfoot was lower than in control group. Metallurgical factory contamination influenced the lipid peroxidation in the first place, oil refinery, motor building and accumulator factories impacted lipid peroxidation in the second place.

**Key words:** lipid peroxidation, environmental pollution, heavy metals, meadow grass, chamomile, wild vetch, coltsfoot, meadow grass, cultivated oat

## REFERENCES

- [1] Markovnikova J., Barancikova G., Dlapa P., Dercova K. Inorganic contaminants in soil ecosystems. *Chemicke listy*. 2006; 100(6): 424–432.
- [2] Motsik A., Pinskiy D.L. *Zagryaznyayushchie veshchestva v okruzhayushchei srede*. Pushchino-Bratislava: PRIRODA, 1991. (In Russ.)
- [3] Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. *Tyazhelye metally i rasteniya*. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2014. (In Russ.)
- [4] Bashkin V.N., Kasimov N.S. *Biogeokhimiya*. Moscow: Nauchnyi mir, 2004. (In Russ.)
- [5] Vladimirov Yu.A. Svobodnoradikal'noe okislenie lipidov i fizicheskie svoystva lipidnogo sloya biologicheskikh membrane. *Biofizika*. 1987; 32(5): 830–844 (In Russ.)
- [6] Skorzynska-Polit E. Lipid peroxidation on plant cells, its physiological role and changes under heavy metal stress. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2007; 74: 49–54.
- [7] Chesnokova N.P., Ponukalina E.V., Bizenkova M.N. Mekhanizmy strukturnoi i funktsional'noi dezorganizatsii biosistem pod vliyaniem svobodnykh radikalov. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2007; 4: 110–121 (In Russ.)
- [8] Blokhina O., Virolainen E., Fagersted K.V. Antioxidants, oxidative stress and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*. 2001; 91: 179–194.
- [9] Fazlieva E.R., Kiseleva I.S. Biokhimicheskie reaktsii rastenii tussilago farfara L. iz prirodnykh mestoobitaniy s raznym urovnem tekhnogenogo zagryazneniya na izbytok medi v srede. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2011; 3: 246–256. (In Russ.)
- [10] Shvedova A.A., Polyanskii N.B. Metod opredeleniya konechnykh produktov perekisnogo okisleniya lipidov v tkanyakh — fluorestsiruyushchikh shiffovykh osnovanii. In: E.B. Burlakova, ed. *Issledovanie sinteticheskikh i prirodnykh antioksidantov in vitro i in vivo*. Moscow: Nauka, 1992. P. 72–73.
- [11] Osipova E.S. Vliyanie neftyanogo zagryazneniya na biokhimicheskie i morfofiziologicheskie pokazateli rastenii [dissertation abstract]. Tyumen, 2013. Available at: <http://earthpapers.net/vliyanie-neftyanogo-zagryazneniya-na-biokhimicheskie-i-morfofiziologicheskie-pokazateli-rasteniy/> (In Russ.) (Date of access: 23.01.2018).

### Article history:

Received: 23.01.2018

Revised: 30.01.2018

### For citation:

Petukhov A.S., Khratokhin N.A., Petukhova G.A. (2018) Lipid peroxidation in plants cells under conditions of the urban environment. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 26 (1), 82–90. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-82-90

### Bio Note:

*Petukhov Aleksandr Sergeevich* — student, Tyumen State University. E-mail: revo251@mail.ru

*Khratokhin Nikolaj Aleksandrovich* — candidate of chemistry, associate Professor, Professor of Department of inorganic and physical chemistry, Tyumen State University. E-mail: kna@utmn.ru

*Petukhova Galina Aleksandrovna* — doctor of biological Sciences, associate Professor, Professor of ecology and genetics Department, Tyumen state University. E-mail: gpetuhova1@mail.ru