

СТРУКТУРНО - ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИСТЬЕВ ТРАВЯНИСТЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ИЗ МЕСТООБИТАНИЙ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

©2013 Э.Р. Фазлиева^{1,2}, И.С. Киселева²

¹Нижнетагильская государственная социально-педагогическая академия, г. Нижний Тагил

²Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Поступила 12.06.2013

Изучение влияния тяжелых металлов на растения важно для оценки состояния растений, как для научной, так и практической работы. В данной статье рассмотрена организация фототрофных тканей листьев, и проведен анализ содержания фотосинтетических пигментов растений из природных местообитаний, в разной степени подвергнутых техногенному воздействию. Показано, что растения из биотопов с высоким уровнем токсической нагрузки обладают лучшей способностью адаптироваться к стрессовым воздействиям, чем растения из фоновых биотопов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, мезоструктура листа, фотосинтетические пигменты.

В связи с бурным развитием промышленности влияние антропогенных факторов на живые организмы резко возросло. Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды особое место занимают тяжелые металлы. Считается, что именно тяжелые металлы являются наиболее токсичными для живых организмов, в том числе и для растений [9]. Важную роль в обеспечении устойчивости растений к стрессорам химической природы играет структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата. Для оценки состояния антропогенной среды многие авторы [5; 12] предлагают использовать изменения параметров фотосинтетического аппарата растений, который характеризуется широкими возможностями адаптивных изменений. Фотосинтетический аппарат в первую очередь и в наибольшей степени подвергается неблагоприятным воздействиям. От его состояния в большой степени зависят возможность выживания растений, их жизнедеятельность, и, в конечном итоге, продуктивность. Изменение параметров мезоструктуры листа может рассматриваться как адаптация фотосинтетического аппарата к разным экологическим условиям.

Исходя из этого, целью нашей работы было изучение структурно-функциональных показателей травянистых растений из техногенно нарушенных территорий с целью оценки их адаптационных возможностей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследований были выбраны следующие виды растений: мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.), подорожник большой (*Plantago major* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), донник белый (*Melilotus albus* M.). Выбор видов определялся принадлежностью к группе ме-

зофитов и присутствием в составе фитоценозов исследуемых территорий.

Исследования проведены в пяти местообитаниях г. Нижний Тагил и его окрестностей, почвенный покров которых загрязнен тяжелыми металлами. Уровень общей токсической нагрузки варьировал от 1,0 до 22,78 отн. ед. [3]. В соответствии с уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами участки ранжированы на зоны: фоновая ($S_i = 1,0$ отн.ед.), буферная ($S_i = 3,33-8,36$ отн.ед.), импактная ($S_i = 22,78$ отн.ед.). Дополнительно растения собирали на биостанции УрФУ в Сысертском р-не Свердловской обл. в зоне относительного экологического благополучия (2,55 отн.ед.).

Определение показателей мезоструктуры листьев растений проводили на фиксированных в 2,5 % глутаровом альдегиде в фосфатном буфере (рН = 7,2) образцах согласно методике Мокроносова, Борзенковой [7].

Содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов определяли спектрофотометрически в ацетоновых (80%) экстрактах. Расчет хлорофиллов проводили по формулам Vernon, содержание каротиноидов рассчитывали по Wettstein [1]. Статистический анализ данных выполнен в ПСП Statistica 6.0. (Stat Soft. Inc., 1984–2001). Различия между видами по отдельным признакам оценивали одно- и двухфакторным дисперсионным анализом. Бары на гистограммах – стандартная ошибка среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что у растений *T. farfara* и *T. officinale* по мере возрастания токсической нагрузки наблюдается тенденция к постепенному увеличению толщины листа. У *T. farfara* этот параметр от фонового к импактному участку возрастал на 27%, у *T. officinale* – на 31%.

Увеличение толщины мезофилла от фонового участка до импактного происходило постепенно, и на наиболее загрязненном участке составило у *T. farfara* 20%, у *T. officinale* – 26% (рис. 1).

Фазлиева Эльвира Рашидовна, зав. лабораторией, инженер-исследователь, e-mail: elvira_nt@list.ru; Киселева Ирина Сергеевна, к.б.н., доцент, e-mail: Irina.Kiselyova@usu.ru

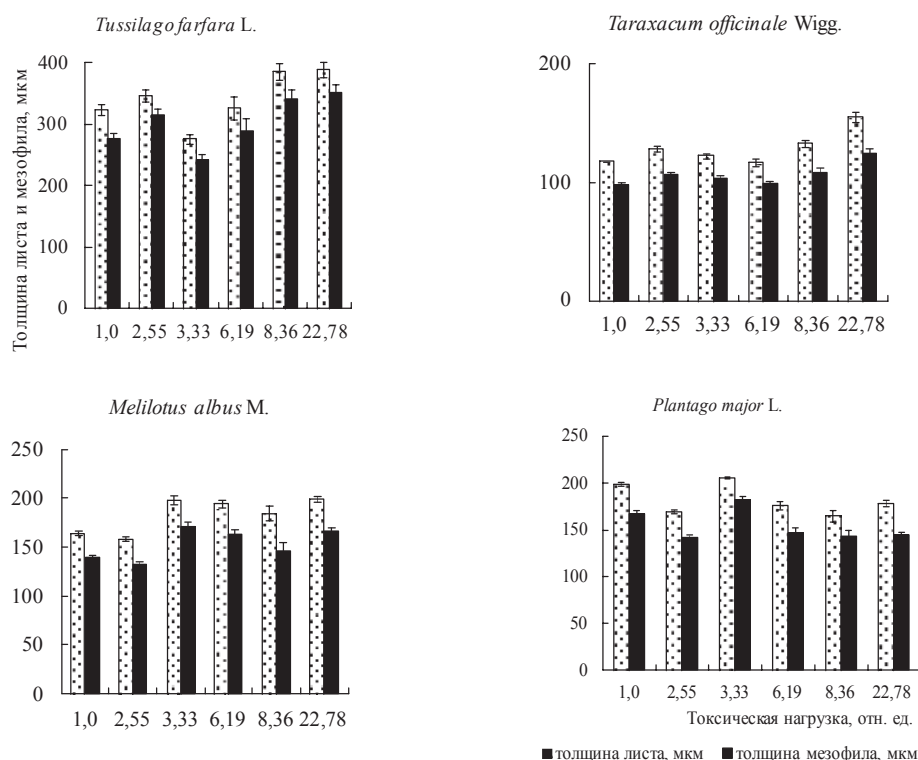


Рис. 1. Толщина листа и мезофилла листьев наземных видов растений из местообитаний с различной токсической нагрузкой

У *M. albus* прослеживается аналогичная тенденция. По мере возрастания суммарной токсической нагрузки листовая пластинка утолщается в результате увеличения толщины мезофилла от 5 до 23%, по сравнению с растениями из фоновых популяций (рис. 1). Изменение толщины листа выражено сильнее, чем толщина мезофилла, что может гово-

рить об увеличении толщины эпидермиса (табл. 1). Об этом свидетельствуют и литературные данные. В работе Кулагина, Кужлевой [6] показано, что под влиянием ионов Cu^{2+} , Pb^{2+} , K^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} наблюдается достоверное увеличение толщины верхнего и нижнего эпидермиса листьев опытных растений относительно контроля.

Таблица 1. Толщина эпидермиса исследуемых видов растений (мкм)

Токсическая нагрузка, отн. ед.	<i>Tussilago farfara</i> L.	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	<i>Melilotus albus</i> M.	<i>Plantago major</i> L.
1,0	47,18	18,83	25,04	31,01
2,55	30,48	21,34	25,90	27,18
3,33	33,55	18,46	26,53	22,87
6,19	38,37	17,94	31,78	29,23
8,36	45,69	23,39	37,53	20,81
22,78	37,50	29,79	32,98	34,04

У *P. major* из природных популяций величина толщины листа и мезофилла из первого фонового и первого буферного участка мало отличались (различия составляли от 0 до 4%) (рис. 1). У растений из импактной зоны по сравнению с фоновыми уменьшение толщины листа и мезофилла соответственно составляло 10 и 14%. В целом, если учесть все отклонения в значениях полученных величин, наблюдается тенденция к уменьшению толщины листа и мезофилла растений *P. major* из наиболее стрессированных зон.

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что неспецифические приспособительные реакции, выражающиеся в увеличении толщины листа, в ответ на нарушение экологических условий

произрастания наиболее явно выражены у изученных нами представителей семейств *Asteraceae* и *Fabaceae*. Значимость популяционных различий исследуемых показателей была оценена однофакторным дисперсионным анализом, для *T. officinale*, *T. farfara*, *M. albus* показаны статистически достоверные различия ($p < 0,0001$).

Сравнительный анализ параметров мезоструктуры фотосинтетического аппарата растений показал, что *T. farfara* и *T. officinale* из более загрязненных местообитаний достоверно ($p < 0,0001$) отличались большими размерами клеток мезофилла листа (рис. 2). Увеличение объема клеток у представителей семейства *Asteraceae* из техногенно нарушенных биотопов по сравнению с растениями из фоно-

вых местообитаний составило от 13 до 98% для растений *T. farfara* и от 2 до 53% для *T. officinale*. Подобная тенденция наблюдалась и у *M. albus* – от

10 до 55 % (рис. 2), что, вероятно, объясняет увеличение толщины листовой пластинки у данного вида.

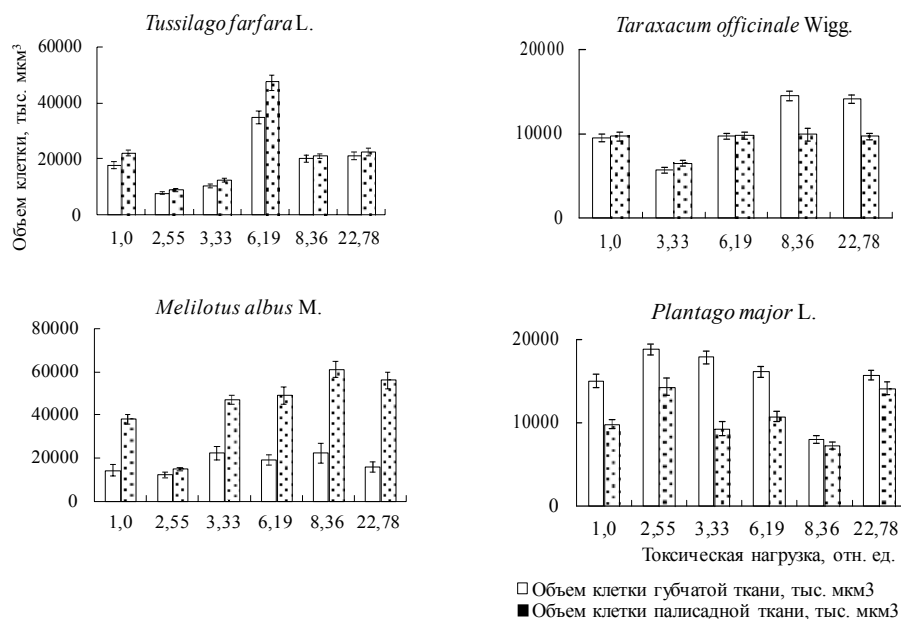


Рис. 2. Объем клеток у растений из местообитаний с разным уровнем техногенной нагрузки

В среднем, объем клеток мезофилла при возрастании токсической нагрузки увеличивались от 1,5 до 2 раз. Это может быть связано с большим накоплением тяжелых металлов и других веществ в вакуолях клеток листьев. Предполагается, что ионы металлов после связывания их с фитохелатинами в цитоплазме транспортируются в вакуоль [11]. Кроме того, из цитоплазмы в вакуоль поступают свободные ионы металлов, следовательно, происходит увеличение объема вакуолей за счет поступления воды для поддержания водного потенциала клеток, при увеличении техногенной нагрузки, что было получено и у ряда других авторов [4; 10].

У *P. major* существенных различий в размерах клеток мезофилла растений из зон с различной токсической нагрузкой не выявлено, но наблюдали тенденцию к уменьшению данных параметров у растений из загрязненных зон в сравнении с фоновой. Уменьшение размеров клеток у растений из популяции с наиболее неблагоприятным экофоном составляет от 2 до 50% (рис. 2).

Анализ данных по количеству клеток в единице площади листа выявил четкую зависимость этого показателя от уровня техногенного воздействия. По мере возрастания токсической нагрузки происходило увеличение числа клеток в см² у растений *T. farfara*, *T. officinale* и *M. albus* из техногенно нарушенных зон ($p < 0,0001$). У *P. major* наблюдали уменьшение количества клеток в единице площади листа у растений из буферных и импактной зон в сравнении с растениями из первой фоновой популяции на 16–32%, что находит подтверждение в экспериментах с *Crepis tectorum* L., *Sanguisorba officinalis* L., *Deschampsia caespitosa* L., *Coronaria floscuculi* L., *Agrostis tenuis* L., где число палисад-

ных и губчатых клеток было 1,2–1,8 раза меньше, но объем клеток был выше у растений из более загрязненных зон [13].

Анализ числа и размеров хлоропластов не выявил значительных отличий у всех изученных видов растений, что не удивительно, поскольку размеры хлоропласта считаются одним из наиболее стабильных параметров мезоструктуры листа [8].

Рассмотренный пигментный состав листьев растений показал следующее: у растений из природных местообитаний хорошо прослеживается тенденция уменьшения содержания хлорофилла *a* по мере возрастания суммарной токсической нагрузки (рис. 3). Однако у *P. major* из буферных участков и у других исследованных видов с первого буферного участка наблюдается увеличение содержания хлорофилла *a* по сравнению с фоновой зоной на 67%. Подобные наблюдения были сделаны в работе Духовского [2]: показано, что на начальных этапах воздействия медью увеличивался синтез хлорофилла.

У растений *T. officinale*, *T. farfara* и *M. albus* изменение содержания хлорофилла *b* имело неоднозначный характер. Уменьшение количества этого пигмента наблюдали в буферных зонах: для *T. farfara* – на 66%, для *T. officinale* – 35% и для *M. albus* – от 63 до 71% от контроля. У *P. major* по мере увеличения токсической нагрузки наблюдается постепенное увеличение содержания этого пигмента.

Наши исследования показали различия в отношении хлорофилла *a*/хлорофилл *b* (рис. 3). В ряде случаев наблюдали его увеличение, а в ряде – снижение. Выявленные различия могут говорить об изменениях стехиометрического соотношения между комплексами реакционных центров фотосис-

тем и ССК II [5].

У исследуемых видов наблюдали увеличение или сохранение содержания каротиноидов по мере усиления техногенного воздействия. При этом отношение содержания хлорофиллов к каротиноидам заметно уменьшается, особенно в импактной зоне

(рис. 3). Вероятно, это связано с защитной, антиоксидантной функцией каротиноидов в сравнении с хлорофиллами. Можно предположить, что пигментные системы изученных видов растений в условиях загрязнения среды адаптировались за счет увеличения количества каротиноидов.

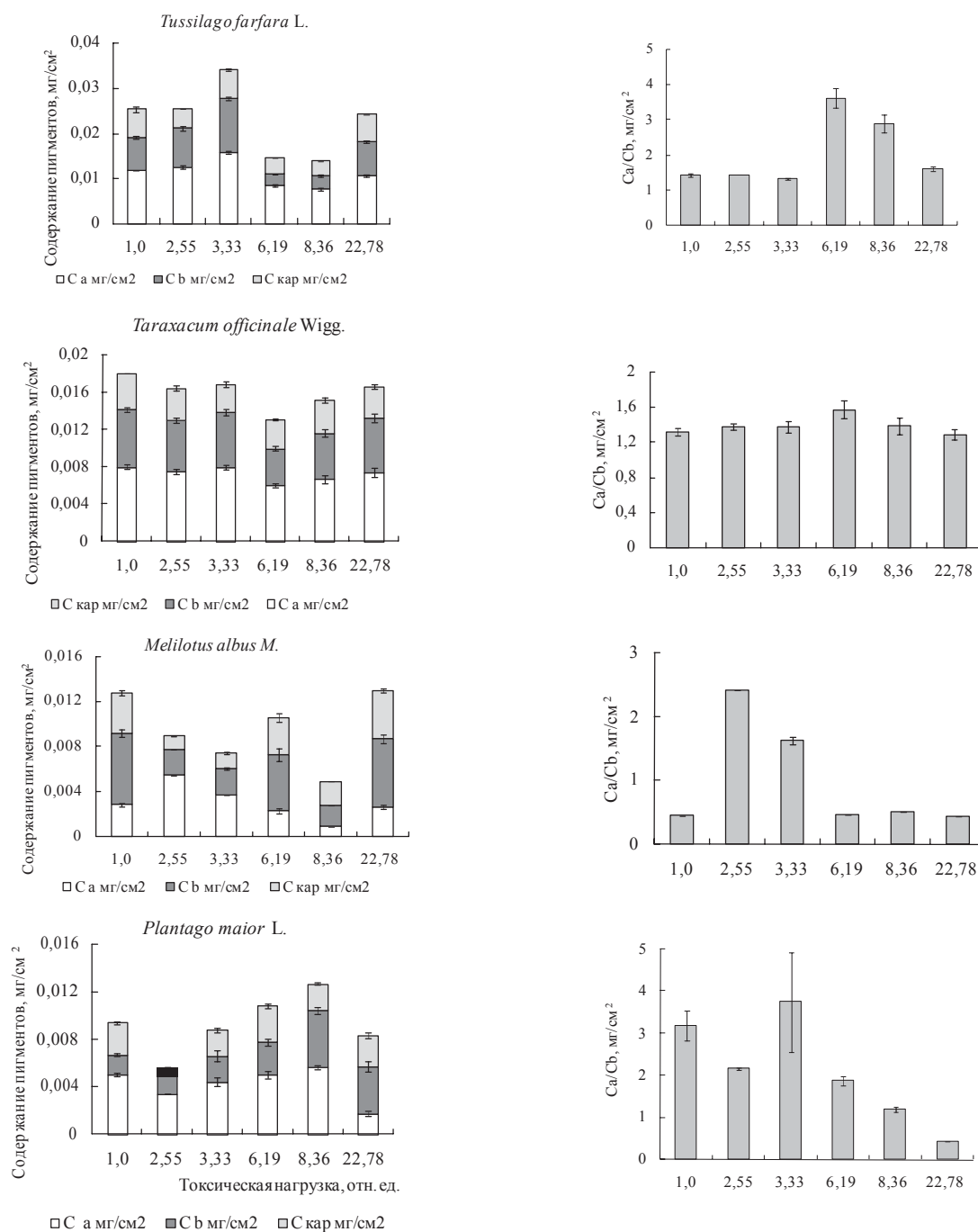


Рис. 3. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений их разных местообитаний

Проведенный анализ фотосинтетического аппарата исследованных растений показал, что *T. farfara*, *T. officinale*, *M. albus* отличались более толстой листовой пластинкой и более крупными клетками мезофилла.

У растений *P. maior*, *T. farfara*, *T. officinale* из природных местообитаний для таких исследуемых параметров, как количество клеток на единицу

площади поверхности листа, размеры хлоропластов и их количество в большинстве случаев какой либо четкой зависимости не обнаружено.

Пигментный комплекс изученных видов растений чувствителен к воздействию тяжелых металлов, что говорит о возможном использовании его в качестве индикатора стрессового воздействия при экологическом мониторинге.

Таким образом, растения имеют механизмы адаптации к избытку поллютантов в среде, проявляющиеся в изменении структурно-функциональных показателей фотосинтетического аппарата. Обнаруженные изменения параметров мезоструктуры в условиях постоянно действующих антропогенных факторов можно рассматривать как защитно-приспособительную реакцию, которая отличается достаточно медленными темпами по сравнению с другими адаптациями.

Полученные результаты могут послужить основой для биомониторинга и фиторемедиации нарушенных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриленко В.Ф., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. М.: Высшая школа, 1975. 392 с.
2. Духовский П., Юкнис Р., Бразайтите И., Жукаускайте Л. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиол. раст. 2003. Т. 50. № 2. С. 165-173.
3. Жуйкова Т.В., Безель В.С., Мордвина Е.С. Фитоценозы техногенно нарушенных территорий и их роль в биогенных циклах химических элементов // Уч. записки. Мат. Всерос. научно-практ. конф. «Экология промышленного региона и экологическое образование». Нижний Тагил, 2006. С. 31-72.
4. Капитонова О.А. Особенности анатомического строения вегетативных органов некоторых видов макрофитов в условиях промышленного загрязнения среды // Экология. 2002. № 1. С. 64-66.
5. Караваев В.А., Баулин А.М., Гордиенко Т.В., Довыдьков С.А., Тихонов А.Н. Изменение фотосинтетического аппарата листьев бобов в зависимости от содержания тяжелых металлов в среде выращивания // Физиол. раст. 2001. Т. 48. № 1, С. 47-54.
6. Кулагин А.А., Кужлева Н.Г. Об анатомических изменениях, происходящих в листьях *Populus balsamifera* L. на фоне избыточного содержания металлов в окружающей среде // Известия Самарского НЦ РАН. 2005. Т. 7. № 1. С. 193-198.
7. Мокронос А.Т., Борзенкова Р.А. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. 1978. Т. 61. Вып. 3. С. 119-132.
8. Мокронос А.Т., Шмакова Т.В. Сравнительный анализ мезоструктуры фотосинтетического аппарата у мезофитных и ксерофитных растений // Мезоструктура и функциональная активность фотосинтетического аппарата. Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1978. С. 103-107.
9. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 172 с.
10. Чукина Н.В., Борисова Г.Г. Структурно-функциональные показатели высших водных растений из местообитаний с разным уровнем антропогенного воздействия // Биология внутр. вод. 2010. № 1. С. 49-56.
11. Hall J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance // J. Exp. Bot. 2002. V. 53. N 366. P. 1-11.
12. Khudsar T., Mahmooduzzafar, Iqbal M. Cadmium-induced changes in leaf epidermis, photosynthetic rate and pigment concentrations in *Cajanus cajan* // Biol. Plant. 2001. V. 44. N 1. P. 59-64.
13. Kiselyova I., Trubina M. Structural adaptation of photosynthetic tissues, cells and chloroplasts to acid gases and metal dust pollution // Photosynthesis in the Post-Genomic Era: Structure and Function of Photosystems. Intern. Meeting. Pushchino, 2006. P. 244.

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF LEAVES OF GRASSY PLANT SPECIES HABITAT WITH DIFFERENT LEVELS OF CONTAMINATION CAUSED

©2013 E.R. Fazlieva^{1,2}, I.S. Kiseleva²

¹Nizhny Tagil State Socio-Pedagogical Academy, Nizhny Tagil

²Ural Federal University named the First president of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg

Studies on the effect of heavy metals on plants is important to assess the condition of the plants, both for scientific and practical work. In this paper the organization of phototrophic leaf tissue, and the analysis of the content of photosynthetic pigments of plants from natural habitats, to varying degrees, exposed to human impact. It is shown that plants of habitats with high levels of the toxic load has better ability to adapt to stresses than plants of the background habitats.

Key words: heavy metals, mesostructure leaf photosynthetic pigments.