

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ У ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ВЫБРОСОВ ПРОМЗОНЫ Г.КЕМЕРОВО

Неверова О.А.¹, Быков А.А.²

¹ФГБУН Институт экологии человека СО РАН, (650065, Кемерово, пр. Ленинградский,10), e-mail: nev11@yandex.ru

² ФГБУН Институт вычислительных технологий СО РАН, Кемеровский филиал (650025 г. Кемерово, ул. Рукавишниковая, 21)

В работе изучены анатомо-морфологические характеристики листьев *Betulapendula*Roth. и хвои *Piceaobovata*Ledeb. и проведен их сравнительный анализ в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово. Методом моделирования загрязнения атмосферного воздуха от промзоны г. Кемерово установлено, что зона максимального загрязнения от источников выбросов распространяется на расстоянии до 4-х км по преобладающему направлению ветров. Вблизи промзоны г. Кемерово выявлены изменения анатомо-морфологических показателей листовой пластинки *Betulapendula*Roth. и хвои *Piceaobovata*Ledeb. как негативного, так и адаптивного характера. Сравнительная характеристика показала, что максимальное количество анатомо-морфологических изменений негативного характера вблизи источников выбросов обнаружено у ели сибирской, к ним относят: снижение длины хвои и площади ее поверхности, увеличение асимметрии центрального проводящего пучка, снижение толщины кутикулы и гиподермы, редукция количества смоляных каналов. Наибольшее количество изменений адаптивного характера выявлено у березы повислой: отмечается достоверное увеличение толщины столбчатого и губчатого мезофилла, толщины листовой пластинки, толщины тканей верхней эпидермы, что, по-видимому, обеспечивает ее более высокую устойчивость к техногенным загрязнениям. Выявлены достоверные корреляционные связи комплексного показателя загрязнения атмосферы с анатомо-морфологическими характеристиками хвои *Piceaobovata*Ledeb. и листовой пластинки *Betulapendula*Roth., что подтверждает факт существенного влияния выбросов промзоны на анатомо-морфологические перестройки ассимиляционного аппарата древесных растений.

Ключевые слова: промышленное загрязнение среды, древесные растения, анатомо-морфометрические характеристики листьев и хвои.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ANATOMICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTIC AT CONIFEROUS AND DECIDUOUS TREES IN THE CONDITIONS BY EMISSIONS OF THE INDUSTRIAL ZONE OF KEMEROVO CITY

Neverova O.A.¹, Bukov A.A.²

¹Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo, Russia(650065, Kemerovo,the Leningrad prospectus,10), e-mail: nev11@yandex.ru

²Institute of computing technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo branch (650025 of Kemerovo of Rukavishnikov St., 21)

We investigated the anatomical and morphological characteristics of the leaves of *Betulapendula* Roth. and needles of *Piceaobovata*Ledeb. and a comparative analysis in terms of the dominant influence of emissions from the industrial zone Kemerovo city. By long-term air pollution simulation around the Kemerovo city industrial zone is established that the area of increased pollution extends to a distance up to 4 km towards the prevailing wind direction. Near industrial zone of Kemerovo city revealed changes in the anatomical and morphological characteristics of the leaf blade *Betulapendula* Roth. and needles of *Piceaobovata*Ledeb. both negative and adaptive nature. Comparative characteristics showed that the maximum number of anatomical and morphological changes negative nature near emission sources found in Siberian spruce, these include: reducing the length of needles and its surface area, increasing the asymmetry of the Central conductive beam, reducing the thickness of the cuticle and hypodermis, reduction in the number of resin canals. The greatest number of adaptive changes character revealed in silver birch: showed a significant increase in the thickness of columnar and spongy mesophyll, the thickness of the leaf blade, the thickness of the tissues of the upper epidermis, that, apparently, it provides higher resistance to technogenic pollution. Significant correlation of the air pollution complex index with anatomical and morphological characteristics of needles of *Piceaobovata*Ledeb. the lamina *Betulapendula* Roth was founded. This matter confirms the significant impact of industrial emissions on the anatomical and morphological alterations of the assimilation apparatus woody plants.

Keywords: environmental pollution, woody plants, morphometrical, anatomical characteristics of leaves and needles.

Одним из источников загрязнения атмосферного воздуха г. Кемерово является промзона, включающая Кемеровскую ГРЭС, КОАО «Химпром», ОАО «Кокс». Промзона расположена на границе Центрального и Заводского районов города в непосредственной близости к жилым кварталам. Приоритетными выбросами данных промышленных объектов являются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, полиароматические углеводороды, в том числе бенз(а)пирен и взвешенные вещества.

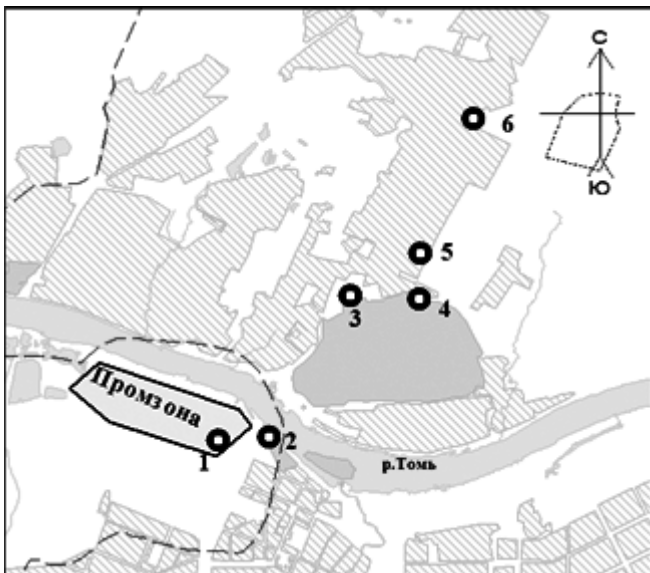
Зеленые насаждения обладают уникальной сорбционной способностью, они поглощают из воздуха и нейтрализуют в тканях значительное количество вредных компонентов промышленных эмиссий, способствуя сохранению оптимального газового баланса в атмосфере. Поэтому оценка состояния растений, а также экологического состояния городской среды, основанная на изучении параметров растений, является актуальной [1, 2, 4-7, 9, 10]. Хроническое воздействие атмосферных токсикантов вызывает серьезные изменения анатомического строения листьев и хвои растений.

В связи с вышесказанным целью представленных исследований явилось изучение анатомо-морфологических характеристик листьев *Betulapendula*Roth. и хвои *Piceaobovata*Ledeb. во взаимосвязи с суммарным загрязнением атмосферы г. Кемерово в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны.

Для достижения цели проведено моделирование загрязнения на пробных площадках наблюдения и изучены анатомо-морфологические признаки листьев *Betulapendula*Roth. и хвои *Piceaobovata*Ledeb.

Объекты и методы

Для исследований выбраны 6 площадок наблюдения (ПН), расположенные по факельному следу распространения выбросов от промзоны (по преобладающему юго-западному направлению ветров) (рис.1).



- Обозначения. ПН: 1 – сквер у проходной ГРЭС (ул. Станционная, 17)
 2 – парк им. Горького (вблизи спорткомплекса)
 3 – территория станции Юннатов (пр. Шахтеров 10)
 4 – территория санатория «Журавлик» (ул. Терешковой 7)
 5 – сквер им. Шахтеров (между пр. Шахтеров и ул. Институтской)
 6 – двор сельской больницы (ул. Авроры, 12)

Расстояние от ПН 1 по прямой линии составляет: до 2 ПН - 1 км, до 3 – 3 км, до 4 – 4 км, до 5 – 4,5 км, до 6 – 6,5 км.

Рис. 1. Схема расположения площадок наблюдения в плане города Кемерово

Исследования проведены в летний период 2011–2013 гг. Для оценки среднего за длительный период загрязнения атмосферы г. Кемерово использован специальный модуль программного комплекса ЭРА, который согласован ГГО им. А.И. Воейкова (С-Петербург, Россия) на соответствие краткосрочной модели [3] и долгосрочной модели [8]. Комплекс ЭРА может быть применен для нормативных расчетов загрязнения атмосферы (подробнее см. www.logos-plus.ru) и позволяет использовать стандартные нормативные базы данных, накопленные в форматах программного комплекса ЭРА, отработанный интерфейс и все текстовые и графические возможности по представлению результатов (включая построение на цифровых и растровых картах). Для линейных и площадных источников используется процедура интегрирования с шагом, зависящим от удаления точки от источника, а шаг выбирается из условия не превышения вычислительной погрешности уровня 3 %.

Основное соотношение для вычисления средней за длительный период концентрации C в точки с полярными координатами (r, φ) относительно источника имеет следующий общий вид:

$$C(r, \varphi) = \frac{P_1(\varphi)M}{r} \int_0^{\infty} du \int_0^{\infty} d\lambda p_2(u) p_3(\lambda) q(r, u, \varphi, \lambda, H_e), \quad (1)$$

где M (г/сек) средний за период осреднения выброс источника, а расшифровка обозначений и формулы для подынтегральной функции q и эффективной высоты источника H_e представлены в [8]. В состав выражения (1) входят три функции, представляющие плотности распределения: направление ветра $p_1(\varphi)$; скорость ветра $p_2(u)$; безразмерный параметр λ интенсивности турбулентного перемешивания $p_3(\lambda)$. Для нормативных расчетов эти распределения, определяющие режим долговременного загрязнения атмосферы в окрестности источника, запрашиваются вместе с остальными необходимыми параметрами в ГГО им. А. И. Воейкова. Функция $p_1(\varphi)$ получается из стандартной 8-и румбовой розы ветров путем интерполяции, вид которой определен в [8].

При расчете учтены данные инвентаризации из материалов сводного тома ПДВ г. Кемерово приоритетных выбросов предприятий промзоны – оксидов азота, диоксида серы, оксида углерода, бенз(а)пирена и взвешенных веществ (зола, сажа и др.).

В процессе моделирования рассчитывался условный безразмерный комплексный показатель (КП) суммарного среднегодового загрязнения атмосферы $КП = C_1/ПДК_{с1} + C_2/ПДК_{с2} + \dots + C_n/ПДК_{сn}$, где C – среднегодовая приземная концентрация, $ПДК_{с}$ – среднесуточная $ПДК$, а индексы 1, 2, 3, ..., n относятся к вышеперечисленным загрязняющим веществам. Данный показатель не является нормативным гигиеническим критерием, поскольку далеко не все учтенные вещества обладают эффектом однонаправленного воздействия на человека. Он носит смысл «суммарной техногенной нагрузки», создаваемой промышленностью посредством атмосферного переноса загрязнения на ту или иную территорию города.

Объектом анатомических исследований являлась *Picea obovata* Ledeb. и *Betula pendula* Roth. средневозрастного генеративного состояния, произрастающие в зоне действия выбросов предприятий промзоны. Для исследований брали по 5 деревьев с каждой ПН. С модельных деревьев из средней части кроны с южной стороны собирали побеги с листьями и хвоей 2-го года и фиксировали в 60 % растворе этилового спирта. Для анатомических исследований из средней части листьев и хвои делали поперечные срезы и помещали их в глицерин. Измерения анатомо-морфологических признаков хвои и листьев проводили с помощью микроскопа Аксиоскоп-2+, модель ZEISS NHBO103 and NXBO75 (Германия) с программным обеспечением. Площади тканей на поперечном срезе хвои измеряли с использованием программы «AreaS» 2.1 (автор Пермяков А.Н.) www.ssa.ru. В ходе исследования определяли длину хвои и площадь поперечного среза, толщину тканей хвои, площадь мезофилла, количество и площадь смоляных каналов, площадь центрального цилиндра (ЦЦ), диаметр центрального проводящего пучка (ЦПП), расчетным способом определяли величину асимметрии ЦПП и отношение площади ЦП к поперечному срезу хвои.

У березы определяли: толщину листовой пластинки, кутикулы, верхней и нижней эпидермы, столбчатого и губчатого мезофилла. При статистической обработке данных применяли программу Statistica 6.0. Достоверность отличий анатомо-морфологических параметров определяли по критерию Стьюдента, при уровне значимости 0,05.

Результаты и их обсуждение

Значения комплексного показателя загрязнения атмосферы (КП) на ПН представлены в таблице 1. Данные таблицы показывают, что значения КП распределяются в порядке убывания при удалении от промзоны.

Таблица 1

Значения комплексного показателя загрязнения атмосферы на исследуемых площадках наблюдения

№ п/п	Название ПН	Значение КП
1	сквер у проходной ГРЭС (ул. Станционная, 17)	17.968
2	парк им. Горького (вблизи спорткомплекса)	10.429
3	территория станции Юннатов (пр. Шахтеров 10)	8.132
4	территория санатория «Журавлик» (ул. Терешковой 7)	6.871
5	сквер им. Шахтеров (между пр. Шахтеров и ул. Институтской)	6.281
6	двор сельской больницы (ул. Авроры, 12)	6.208

Существенная разница между значениями КП отмечается между 1–4 ПН – на расстоянии 4 км от источников выбросов. Так от 1 к 4 ПН значения КП распределяются следующим образом: 17,97>10,43>8,13>6,87. По мере удаления от промзоны, начиная с 4 по 6 ПН (на расстоянии от 4 до 6 км от источников выбросов) существенных различий в значениях КП не наблюдается, данный показатель варьирует в пределах 6,87–6,21.

Микроскопирование препаратов поперечных срезов хвои *Piceaobovata*Ledeb. показало, что по мере приближения к промзоне в сравнении с ПН 6, максимально удаленной от источников выбросов отмечается снижение длины и площади поверхности хвои (от ПН 5 к ПН 1 на 21 -39 % и 26- 57 % соответственно), уменьшается диаметр центрального проводящего пучка (ЦПП) (от ПН 4 к ПН 1 на 4–8 %) (табл. 2).

Таблица 2

Анатомические и морфологические признаки строения хвои *Piceaobovata*Ledeb. в условиях действия выбросов промзоны города Кемерово

Показатель	№ ПН					
	1	2	3	4	5	6
длина хвоинки, мм	17.34± 0.63	13.96± 0.52	17.90± 0.81	15.55± 0.66	14.54± 0.52	22.73± 0.33
площадь поверхности хвоинки, мм ²	41.93± 1.25	32.33± 2.31	48.9± 3.10	37.94± 3.30	39.46± 1.40	66.47± 2.20
периметр поперечного	2.37± 0.05	2.35± 0.11	2.69± 0.06	2.45± 0.08	2.71± 0.08	2.9± 0.07

сечения хвои, мм						
величина асимметрии ЦПП, мкм	7.06± 0.31	7.74± 0.13	6.52± 0.29	3.80± 0.19	2.73± 0.11	2.72± 0.12
диаметр ЦПП, мкм	234.3± 9.9	242.1± 6.5	244.2± 11.1	234.3± 10.0	277.2± 10.8	255.2± 7.2
высота кутикулы, мкм	6.7± 0.31	5.3± 0.24	6.5± 0.26	6.1± 0.26	6.4± 0.31	7.6± 0.33
высота эпидермы, мкм	11,01± 0.52	11,6± 0.51	12,2± 0.54	10,6± 0.42	12,8± 0.66	10,8± 0.38
высота гиподермы, мкм	13.4± 0.5	14.9± 0.2	14.6± 0.6	15.4± 0.4	16.0± 0.1	17.3± 0.1
высота эндодермы, мкм	21.1± 0.9	15.1± 0.9	16.5± 0.4	16.3± 0.6	14.1± 0.4	16.4± 0.7

Установлено, что ЦПП в хвое *Picea obovata* Ledeb. располагается не строго по середине, а немного смещается относительно центральной оси, при этом асимметрия увеличивается у деревьев по мере приближения к источнику выбросов: на ПН 4 - ПН 1 асимметрия ЦПП в хвое сосны увеличивается на 40...185 % относительно ПН 6 с максимумом на ПН 2 (табл. 2). Отмечалась редукция количества смоляных каналов до одного или полное их отсутствие.

Полученные нами данные свидетельствуют, что по мере приближения к источнику выбросов отмечается неоднозначная реакция в развитии различных тканей хвои, толщина и площадь некоторых видов тканей увеличивается, других – редуцируется. Так, толщина кутикулы и гиподермы от ПН 5 к ПН 1 уменьшалась на 12–37 % и 8–23 % соответственно. По мере приближения к источнику выбросов (от 5ПН к 1ПН) в большинстве случаев происходило снижение площади поперечного среза хвои (на 21–54 %), площади центрального цилиндра (ЦЦ) (на 14–55 %).

Вместе с тем нами выявлены анатомические изменения хвои адаптивного характера. Так по мере приближения к источнику выбросов (от ПН 3 к ПН 1) наблюдалось незначительное увеличение толщины эпидермы – на 2 % – 13 %; в непосредственной близости к промзоне (ПН 1) происходило утолщение слоя эндодермы хвои на 29 %. Утолщение эпидермы и эндодермы можно рассматривать как усиление барьерных функций, направленных на ограничение поступления из воздуха токсических веществ внутрь хвои в первом случае и ограничение поступления токсических веществ к проводящим пучкам во втором случае.

У *Betula pendula* Roth. отмечается нелинейный характер анатомо-морфологических изменений листовой пластинки в зависимости от расстояния до промзоны. Более значительные отличия изучаемых показателей отмечаются на расстоянии до 2-х км от источников выбросов – ПН1 и ПН2 в сравнении с ПН6, наиболее удаленной от промзоны. Причем, у *Betula pendula* Roth. выявлены изменения как негативного, так и адаптивного

характера. Так, в непосредственной близости к промзоне на расстоянии 1 км (ПН1) наблюдается тенденция к снижению толщины кутикулы и ширины клеток нижней эпидермы в сравнении с ПН6 – на 22 и 17 % соответственно (табл. 3).

В сравнении с *Picea obovata* Ledeb. у *Betula pendula* Roth. в непосредственной близости к промзоне значительно больше выявлено анатомо-морфологических изменений адаптивного характера, что, по-видимому, обеспечивает ее высокую устойчивость.

В частности, у *Betula pendula* Roth. на ПН1 в сравнении с ПН6 обнаружено достоверное увеличение толщины столбчатого и губчатого мезофилла (на 27 и 28 %), толщины листовой пластинки (на 22 %), толщины тканей верхней эпидермы (на 19 %) (табл. 3).

Таблица 3

Анатомические признаки строения листовой пластинки *Betula pendula* Roth. в условиях промышленного загрязнения города Кемерово

Показатель	№ПН					
	1	2	3	4	5	6
толщина листовой пластинки, мкм	176.1*± 0.8	140.4± 0.56	137.9± 0.65	165.3*± 0.34	148.1± 0.13	144.2± 0.44
высота верхней эпидермы, мкм	23.5*± 0.1	21.6± 0.05	19.6± 0.1	29.4*± 0.14	19.4± 0.09	19.7± 0.07
высота нижней эпидермы, мкм	14.2± 0.05	11.2*± 0.06	10.6*± 0.07	12.9± 0.08	12.4± 0.05	12.8± 0.05
толщина столбчатого мезофилла, мкм	72.0*± 0.28	49.7± 0.33	48.3*± 0.21	58.0± 0.11	58.5± 0.19	56.7± 0.16
толщина губчатого мезофилла, мкм	74.6*± 0.31	62.7± 0.35	60.0± 0.22	66.6*± 0.21	64.4± 0.14	58.2± 0.17
толщина кутикулы, мкм	4.9± 0.04	4.0± 0.06	4.7± 0.04	6.0± 0.05	5.4± 0.07	6.3± 0.08

Примечание: * – отмечены достоверные отличия от ПН 6.

На ПН3–ПН5 изучаемые показатели меняются без определенной тенденции, и их значения не достоверны в сравнении с ПН6.

Данные корреляционного анализа показали достоверную связь комплексного показателя загрязнения атмосферы (КПЗА) с некоторыми анатомо-морфологическими характеристиками хвои ели сибирской и листьев березы повислой. В частности, у ели сибирской выявлена отрицательная связь КПЗА с периметром поперечного сечения хвои ($r = -0.5$, при $p < 0.05$, $n=36$), толщиной гиподермы ($r = -0.34$, при $p < 0.05$, $n=54$), и положительная связь с толщиной эндодермы ($r = 0.51$, при $p < 0.05$, $n=35$), величиной асимметрии центрального проводящего пучка ($r = 0.41$, при $p < 0.05$, $n=34$) и площадью смоляного хода ($r = 0.42$, при $p < 0.05$, $n=34$). У березы повислой выявлены достоверные корреляционные связи КПЗА с толщиной листовой пластинки ($r = 0.37$, при $p < 0.05$, $n = 82$), толщиной нижней эпидермы ($r = 0.22$, при $p < 0.05$, $n = 106$), толщиной столбчатого и губчатого мезофилла

($r=0.43$, при $p<0.05$, $n=100$ и $r=0.39$, при $p<0.05$, $n=100$). Это доказывает существенное влияние промышленных выбросов на анатомо-морфологические перестройки листовой пластинки березы повислой и хвои ели сибирской.

Заключение

Моделирование загрязнения атмосферного воздуха от промзоны г. Кемерово с использованием специального модуля программного комплекса ЭРА позволило установить, что зона максимального загрязнения от источников выбросов распространяется на расстоянии до 4-х км по преобладающему направлению ветров.

В условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово выявлены изменения анатомо-морфологических показателей листовой пластинки *Betula pendula* Roth. и хвои *Picea obovata* Ledeb. как негативного, так и адаптивного характера. Сравнительная характеристика показала, что максимальное количество анатомо-морфологических изменений негативного характера вблизи источников выбросов обнаружено у ели сибирской, к ним относят: снижение длины хвои и площади ее поверхности, увеличение асимметрии центрального проводящего пучка, снижение толщины кутикулы и гиподермы, редукция количества смоляных каналов. Наибольшее количество изменений адаптивного характера выявлено у березы повислой: отмечается достоверное увеличение толщины столбчатого и губчатого мезофилла, толщины листовой пластинки, толщины тканей верхней эпидермы, что, по-видимому, обеспечивает ее более высокую устойчивость к техногенным загрязнениям.

Выявлены достоверные корреляционные связи комплексного показателя загрязнения атмосферы с анатомо-морфологическими характеристиками хвои *Picea obovata* Ledeb. и листовой пластинки *Betula pendula* Roth., что подтверждает факт существенного влияния выбросов промзоны на анатомо-морфологические перестройки ассимиляционного аппарата древесных растений.

Список литературы

1. Колмогорова Е.Ю., Неверова О.А. Морфофизиологическая оценка состояния древесных растений в условиях урбанизированной среды // Естествознание и гуманизм. – Томск, 2006. – С. 104-105.
2. Колмогорова Е.Ю., Неверова О.А., Колмогорова Н.И. Морфометрическая оценка устойчивости древесных растений к выбросам автотранспорта г. Кемерово // Естествознание и гуманизм. – Томск, 2006. – С. 106.

3. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 92 с.
4. Неверова О.А. Оценка устойчивости и детоксикационного потенциала древесных растений в техногенно измененной среде // Материалы научной сессии ИЭЧ СО РАН 2014 года / Редакционная коллегия: А.Н. Глушков (гл. Редактор), В.В. Бобров (зам. Гл. Редактора), А.Н. Куприянов, Ю.А. Манаков (отв. Секретарь), С.И. Неверова, С.А. Шереметова. – 2014. – С. 57-62.
5. Неверова О.А., Быков А.А. Оценка адаптивного потенциала *betulapendularoth*. В условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/122-18411> (дата обращения: 09.04.2015).
6. Неверова О.А., Николаевский В.С. Контроль качества воздуха города Кемерово с помощью методов фитоиндикации // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2002. – № 6 (29). – С. 149-154.
7. Неверова О.А., Цанденкова О.Л. Фитосинтетическая способность древесных растений как индикатор атмосферного загрязнения // Проблемы региональной экологии. – 2008. – № 1. – С. 61-64.
8. Методика расчета осредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ (Дополнение к ОНД-86). – СПб.: ГГО им. А.И. Воейкова, 2005. – 15с.
9. Цандекова О.Л., Неверова О.А. Количественная характеристика зеленых пигментов в хвое сосны обыкновенной, произрастающей на породном отвале угольного разреза «кедровский» // Материалы научной сессии ИЭЧ СО РАН 2010 года Институт экологии человека СО РАН; под редакцией А.Н. Глушкова. – 2010. – С. 49-52.
10. Neverova O.A., Zokirov R.S. Anatomical properties of *platanorientalis* l. Which grows in the roadside plantations in the city of hudzhand. *Advances in Environmental Biology*. 2014. T. 8. № 13. С. 456-459.

Рецензенты:

Счастливец Е.Л., д.т.н., заведующий лабораторией моделирования геоэкологических систем ИВТ СО РАН, Кемеровский филиал, г. Кемерово;

Блинова С.В., д.б.н., профессор кафедры зоологии и экологии ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово.