



УДК 574.2

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (УФА, РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

ТАГИРОВА
Олеся Васильевна

Бакирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, olecyi@mail.ru

КУЛАГИН
Алексей Юрьевич

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, coolagin@list.ru

ЗАЙЦЕВ
Глеб Анатольевич

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, forestry@mail.ru

Ключевые слова:
береза повислая
промышленный
центр
морфология листа
изменчивость

Аннотация: : В работе представлены данные о сезонных изменениях морфологических параметров листьев в насаждениях березы повислой (*Betula pendula* Roth) в пределах Уфимского промышленного центра. Постоянные пробные площади выбирались с учетом уровня загрязнения и были заложены в зоне непосредственного воздействия промышленного производства (северная часть г. Уфы) и в зоне относительного контроля (западная часть города, рекреационная зона). Для характеристики особенностей роста листьев березы был выполнен корреляционный анализ и оценена глубина корреляционной связи между площадью и массой листьев. Теснота корреляционной связи в зоне загрязнения и характер связи в мае относится к категории «слабой», в июне – «сильной»; в июле и сентябре – «умеренной». По количественным характеристикам тесноты связи в зоне относительного контроля характер корреляционной связи относится к категории «сильной». Значения массы листа и площади листа березы свидетельствуют о том, что в условиях промышленного загрязнения наблюдается равномерное развитие листьев в течение вегетационного периода 2016 г. Однако корреляционный анализ позволил установить неоднозначную связь между массой листа и площадью листа, что можно объяснить адаптивными реакциями березы повислой, которые проявляются при сезонном развитии листьев.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Г. Э. Кудинова

Получена: 16 января 2019 года

Подписана к печати: 01 июля 2019 года

Введение

В границах крупных промышленных центров происходят нарушения формирования структурных компонентов экосистемы. В техногенных условиях произрастания древесные растения испытывают угнетение роста и развития (Кулагин, 1974, 1980). Показано, что древесные растения, произрастающие в условиях преимущественного углеводородного загрязнения окружающей среды, характеризуются такими адаптивными реакциями, как увеличение сезонной продолжительности роста, формирование повышенной массы ассимиляционных органов, изменение архитектуры корневой системы и массы корней (Кулагин, Зайцев, 2008).

Объект исследования – насаждения березы повислой (*Betula pendula* Roth).

Цель исследования – выявление сезонной динамики морфологических параметров листьев березы повислой по количественным характеристикам тесноты корреляционной связи.

Материалы

Исследования осуществлялись в 2016 г. на территории Уфимского промышленного центра. В лесных насаждениях г. Уфы заложены постоянные пробные площади (ПП) в контрастных лесорастительных условиях.

ПП 1 (зона загрязнения) заложена вблизи нефтеперерабатывающих заводов на территории Орджоникидзевского района в лесных культурах. Формула древостоя 10 Б. Средний диаметр 24 см, средняя высота 21 м, полнота 0.8, средний возраст 43 года.

Подрост: *Populus balsamifera* L., *Quercus robur* L., *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill. Сомкнутость 0.4.

Подлесок: *Sorbus aucuparia* L., *Padus avium* Mill., *Euonymus verrucosus* SCOP, *Corylus avellana* L., *Acer platanoides* L. Проективное покрытие 30 %. Травяной покров: *Plantago major* L., *Arctium lappa* L., *Aegopodium podagraria* L., *Polygonatum odoratum* (Mill.). Druce (*Polygonatum officinale* All.), *Poa angustifolia* L., *Geum urbanum* L., *Paris quadrifolia* L., *Galium odioratum* (L.) Scop., *Artemisia glauca* Pall., *Arctium nemorales* Lej., *Urtica dioica* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Chelidonium majus* L., *Poa supina* Schrad. Общее проективное покрытие 35 %. ПП 11 (зона относительного контроля – без воздействия промышленных выбросов) заложена в сквере Волна на территории Ленинского района г. Уфы в лесных культурах. Формула древостоя 10 Б. Средний диаметр 25 см,

средняя высота 23 м, полнота 0.8, средний возраст 46 лет.

Подрост: *Populus balsamifera* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds. Сомкнутость 0.4.

Подлесок: *Sorbus aucuparia* L., *Euonymus verrucosus* SCOP. Проективное покрытие 30 %.

Травяной покров: *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., *Cynoglossum officinale* L., *Achillea millefolium* L., *Geum urbanum* L., *Galium odioratum* (L.) Scop., *Aegopodium podagraria* L., *Artemisia vulgaris* L., *Agrimonia pilosa* Lebed., *Dryopteris liliifolia* (L.) Schott, *Asarum europaeum* L., *Urtica dioica* L., *Arctium nemorales* Lej., *Plantago major* L., *Campanula trachelium* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Chelidonium majus* L., *Linaria vulgaris* Mill. Общее проективное покрытие 70 %.

Методы

Работы по характеристике породного состава и состояния древесной растительности проводили по стандартным методикам, при этом были использованы:

1. Методы изучения лесных сообществ (Методы изучения..., 2002).

2. Методы исследования морфологических параметров листьев (Bradshaw et al., 2007; Tech et al., 2018) с помощью программы AreaS.

3. Статистическая обработка (Плохинский, 1970; Зайцев, 1984; Mathematics..., 2007) результатов исследований производилась в программах STATISTICA, Excel и GraphPad Prism (Ивантер, Коросов, 2014).

По условиям произрастания листья должны быть собраны с растений, находящихся в одинаковых экологических условиях (уровень освещенности, увлажнения и т. д.). Выбирали растения, произрастающие на открытых участках, достигшие генеративного возрастного состояния. Листья были собраны из одной и той же части кроны с разных сторон (север, юг, запад, восток), с максимального количества доступных веток относительно равномерно вокруг дерева (с каждой пробной площади ежемесячно отбиралось по 100 листьев). Использовали листья с укороченных побегов. Размер листьев был сходным, средним для данного растения (Cornelissen et al., 2003).

Исследования проводились на гербарном материале. Из каждой партии листьев рандомизированно (Cornelissen et al., 2003) выбирались листья, у которых измерялись следующие параметры: площадь листа (см²),

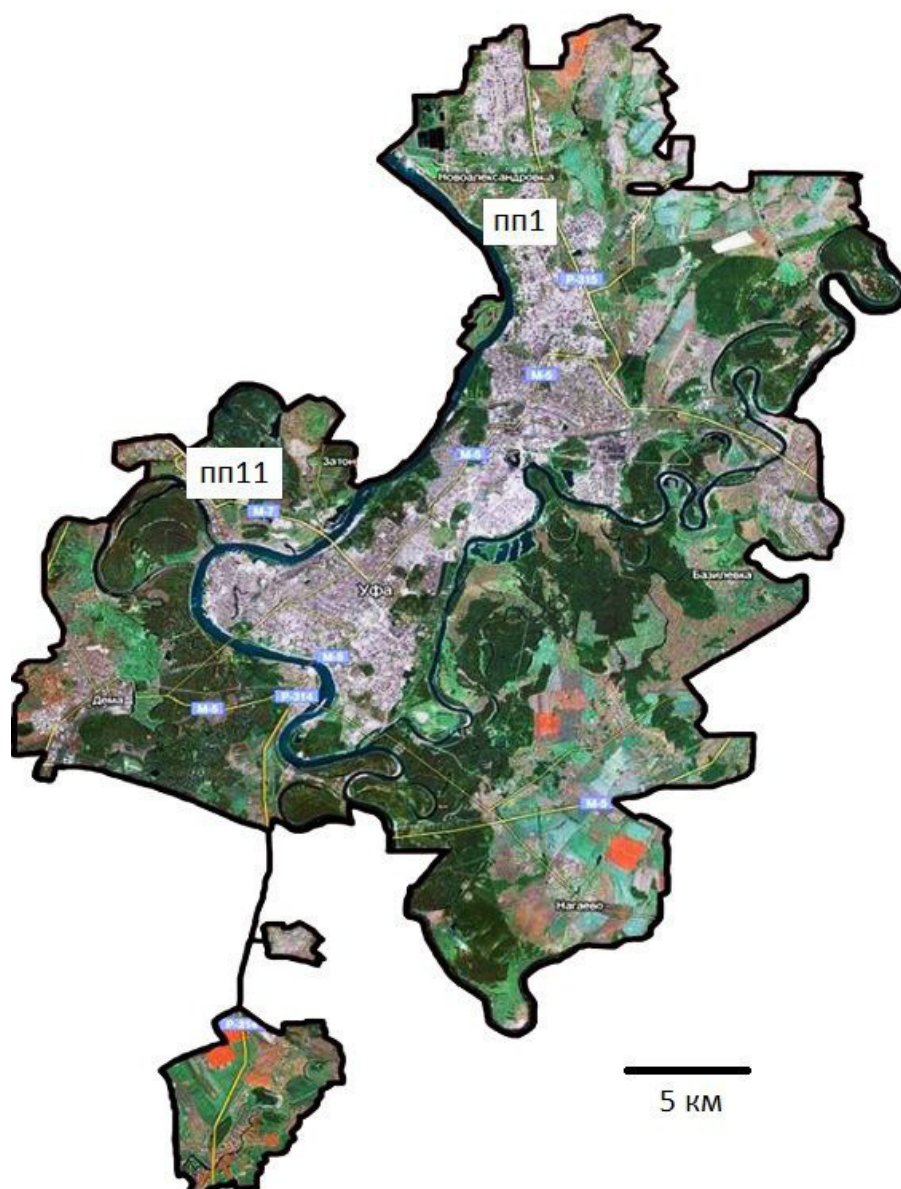


Рис. 1. Размещение пробных площадок в г. Уфа
Fig. 1. Placing trial plots in Ufa

масса листа (г). Масса листовой пластинки определялась в воздушно-сухом состоянии на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 (Госметр, Россия). Площадь листа измеряли с использованием программы по определению площади сложных фигур «AreaS» 2.1, работа которой основана на сканировании двух фигур, площадь одной из них известна (шаблон), с последующим их сравнением и расчетом площади другой фигуры. Погрешность определения площади не превышает 0.001 %. Для определения площади фигур с помощью программы «AreaS» было использовано оборудование и программное обеспечение: ПК Aquarius Pro P30 S42, сканер (Canon LaserBase MF6560PL), графический редактор с возможностью сканировать изображения (IrfanView).

Погодные характеристики года исследований приведены по метеорологической станции Уфа-Дема (широта – 54°43′, долгота – 55°50′) по данным ВНИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) (Индекс ВМО – 28722) и National Climatic Data Center, National oceanic and atmospheric administration (NCDC NOAA) (GHCND:RSM00028722).

Результаты

Ранее было установлено (Кулагин, Тагирова, 2015), что относительное жизненное состояние березовых насаждений, подвергающихся воздействию выбросов нефтеперерабатывающих предприятий, характеризуется как «ослабленное». Деревья березы на ПП 1 имеют плохо сформированную ажур-

ную крону (густота кроны – 55–65 %), стволы плохо очищаются от мертвых сучьев (доля мертвых сучьев – 20–45 %). Отмечаются повреждения стволов энтомопоражениями (кладка яиц, стволовые заселения), фитопатологические повреждения (образование на стволе плодовых тел грибов) и суховершинность. Относительное жизненное состояние насаждений в зоне относительного контроля (ПП 11) характеризуется как «здоровое». Густота кроны составляет 85–95 %. Наличие на стволе мертвых сучьев – от 1 до 15 %. Сте-

пень повреждения листьев токсикантами и насекомыми составляет 0–10 %. Суховершинность не выражена, фитопатологические повреждения отсутствуют, повреждения стволов энтомопоражениями (кладка яиц, стволовые заселения) незначительные.

В результате проведенных исследований в зоне загрязнения (ПП 1) и в зоне относительного контроля (ПП 11) на основании расчетов были получены средние значения площади и массы листьев в период вегетации (табл. 1).

Таблица 1. Сезонные изменения площади и массы листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в 2016 г. в разных условиях произрастания (Уфимский промышленный центр)

Сроки	ПП 1 (зона загрязнения)		ПП 11 (зона относительного контроля)	
	Площадь листа, см ²	Масса листа, г	Площадь листа, см ²	Масса листа, г
Июнь	12.46	0.07	14.09	0.08
Июль	13.89	0.10	13.58	0.09
Август	14.03	0.10	15.34	0.11
Сентябрь	-	-	12.85	0.10
Октябрь	15.88	0.12	15.14	0.11

Установлено, что в 2016 г. на фоне среднемесячных значений температуры и осадков (табл. 2) в зоне загрязнения (ПП 1) прослеживается равномерное увеличение площади и массы листьев березы с июня по октябрь. При этом в зоне относительного контроля (ПП 11) такая динамика была выявлена только по массе листьев. Полученные значения по площади листьев березы в зоне относительного контроля в течение вегетационного периода различаются. Максимальные значения площади листьев были выявлены в августе, а минимальные значения – в сентябре.

На ПП 1 (табл. 3) отмечается более высокий коэффициент вариации (выше 30 %), что свидетельствует о высокой изменчивости листьев.

Таблица 3. Сезонные изменения площади (S, см²) и массы (M, г) листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в 2016 г. в разных условиях произрастания (Уфимский промышленный центр)

Выявлен феномен неравномерного роста листьев березы в июне 2016 г. (период активного роста листьев) в условиях относительного загрязнения, что согласуется с мнени-

ем С. А. Мамаева (1973) об исключительной изменчивости листьев березы повислой и не противоречит сведениям о внутривидовой дифференциации листьев (Ермолова и др., 2014). Для характеристики особенностей формирования листьев березы был выполнен корреляционный анализ и оценена глубина корреляционной связи между площадью и массой листьев березы повислой (табл. 4).

В зоне загрязнения (ПП 1) в июне и августе выявлена умеренная связь между площадью и массой. В июле и октябре – линейная связь между исследуемыми параметрами. В зоне относительного контроля (ПП 11) в ходе корреляционного анализа в июне, июле, августе выявлена линейная связь между площадью и массой листьев. В сентябре – связь между параметрами очень сильная, практически линейная зависимость. В октябре в ходе корреляционного анализа выявлена сильная связь между площадью и массой. В ходе исследования была выявлена прямая связь между площадью и массой листьев как в зоне относительного загрязнения, так и в зоне относительного контроля (Ивантер, Коросов, 2014).

Таблица 2. Краткая характеристика погодных условий года исследований по данным метеостанции Уфа-Дема

Месяц	Температура, °C			Влажность, %		Кол-во выпавших осадков, мм		
	ср	мин	макс	ср	мин	Сумма осадков	макс	число дней с осадками
I	-12.0	-29.9 (02.01.2016)	+0.8 (09.01.2016)	74	33 (23.01.2016)	50	9.0 за 12 ч. (20.01.2016)	22
II	-4.6	-18.8 (12.02.2016)	+6.3 (25.02.2016)	80	46 (21.02.2016)	42	5.0 за 12 ч. (17.02.2016) 5.0 за 12 ч. (28.02.2016)	16
III	-1.2	-17.2 (21.03.2016)	+11.0 (26.03.2016)	73	32 (16.03.2016)	30	5.0 за 12 ч. (28.03.2016)	19
IV	+9.1	-3.4 (09.04.2016)	+24.1 (16.04.2016)	66	21 (25.04.2016)	44	10.0 за 12 ч. (03.04.2016)	18
V	+14.3	-1.3 (09.05.2016)	+30.3 (27.05.2016)	54	16 (05.05.2016)	26	8.0 за 12 ч. (13.05.2016) 8.0 за 12 ч. (14.05.2016)	12
VI	+17.8	+2.3 (02.06.2016)	+30.3 (21.06.2016)	61	23 (02.06.2016) 23 (02.06.2016)	56	21.0 за 12 ч. (21.06.2016)	10
VII	+21.1	+10.0 (07.07.2016)	+32.5 (31.07.2016)	62	24 (28.07.2016)	18	6.0 за 12 ч. (10.07.2016)	8
VIII	+23.2	+1.9 (30.08.2016)	+35.4 (17.08.2016)	55	14 (31.08.2016)	19	14.0 за 12 ч. (12.08.2016)	9
IX	+12.2	+3.3 (08.09.2016)	+24.8 (22.09.2016)	75	15 (01.09.2016)	61	11.0 за 12 ч. (13.09.2016)	23
Год	+5.1	-35.6 (21.12.2016)	+35.4 (17.08.2016)	69	14 (31.08.2016)	507	21.0 за 12 ч. (21.06.2016)	210

Заключение

В условиях загрязнения отмечено равномерное увеличение площади и массы листьев березы с июня по октябрь, тогда как в зоне относительного контроля такая динамика выявлена только по массе листьев.

Показано, что теснота корреляционной связи площади листа и массы листа в зоне загрязнения и характер связи в июне относится к категории «слабая», в июле – «сильная», в августе и октябре – «умеренная». По количественным характеристикам тесноты связи площади листа и массы листа в зоне относительного контроля характер корреляционной связи относится к категории «сильная». Числовые значения массы листа и площади

листа березы повислой свидетельствуют о том, что в условиях промышленной зоны наблюдается равномерное развитие листа в течение вегетационного периода 2016 г.

Корреляционный анализ позволил установить неоднозначную связь между массой листа и площадью листа, что можно объяснить адаптивными реакциями березы повислой, которые проявляются при сезонном развитии листьев с учетом динамики климатических параметров.

Формирование ассимиляционного аппарата березы повислой в условиях преобладающего нефтехимического загрязнения окружающей среды происходит без значительных отклонений, что является специфической реакцией на углеводородный тип загрязнения.

Таблица 3. Сезонные изменения площади (S , см²) и массы (M , г) листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в 2016 г. в разных условиях произрастания (Уфимский промышленный центр)

Показатель	Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
	S , см ²	M , г	S , см ²	M , г	S , см ²	M , г	S , см ²	M , г	S , см ²	M , г
ПП 1 ($n = 10$)										
Минимум	9.53	0.05	7.76	0.05	7.99	0.05	-	-	12.00	0.09
Максимум	15.93	0.09	19.21	0.18	16.99	0.16	-	-	20.44	0.18
Средний показатель	12.46	0.07	13.90	0.10	14.04	0.10	-	-	15.89	0.12
Отклонение стандартное	2.28	0.02	4.31	0.04	3.353	0.03	-	-	2.48	0.03
Ошибка станд.	0.72	0.01	1.36	0.01	1.06	0.01	-	-	0.79	0.01
Коэффициент вариации, %	18.25	22.24	31.04	36.55	23.88	30.07	-	-	15.62	21.93
Сумма	124.6	0.68	139	0.96	140.4	1.02	-	-	158.9	1.24
ПП 11 ($n = 10$)										
Минимум	9.13	0.04	8.66	0.06	10.07	0.08	8.60	0.06	9.66	0.06
Максимум	19.18	0.12	18.06	0.12	19.92	0.14	16.42	0.13	20.42	0.16
Средний показатель	14.09	0.08	13.58	0.09	15.34	0.11	12.86	0.10	15.15	0.11
Отклонение стандартное	3.52	0.02	2.87	0.02	3.32	0.02	2.79	0.03	3.55	0.03
Ошибка станд.	1.11	0.01	0.91	0.01	1.05	0.01	0.93	0.01	1.12	0.01
Коэффициент вариации, %	24.97	25.30	21.12	19.96	21.65	21.93	21.69	24.60	23.45	28.70
Сумма	141	0.82	135.8	0.92	153.4	1.06	115.7	0.91	151.5	1.11

Таблица 4. Корреляция (R^2) между исследуемыми признаками массы и площади листьев березы повислой в различных условиях произрастания на территории Уфимского промышленного центра

Сроки	ПП1 (зона загрязнения)	ПП11 (зона относительного контроля)
Июнь	0.47	0.73
Июль	0.71	0.71
Август	0.52	0.75
Сентябрь	-	0.96
Октябрь	0.61	0.94

Библиография

- Ермолова Л. С., Гульбе Я. И., Гульбе Т. А. Динамика облиствения побегов ольхи серой и березы повислой в течение вегетационного сезона // Лесоведение. 2014. № 3. С. 11–22.
- Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1984. 424 с.
- Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. 298 с.
- Кулагин А. А., Зайцев Г. А. Лиственница Сукачева в экстремальных лесорастительных условиях Южного Урала. М.: Наука, 2008. 171 с.
- Кулагин А. Ю., Тагирова О. В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2015. 196 с.
- Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 124 с.
- Кулагин Ю. З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. М.: Наука, 1980. 116 с.
- Мамаев С. А. Внутривидовая изменчивость и проблемы интродукции древесных растений // Успехи интродукции растений. М.: Наука, 1973. С. 128–140.
- Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков и др. СПб.: НИИ-Химии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Плохинский Н. А. Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
- Bradshaw J. D., Rice M. E., Hill J. H. Digital analysis of leaf surface area: effects of shape, resolution, and size // Journal of the Kansas Entomological Society. 2007. Vol. 80 (4). P. 339–347. DOI: 10.2317/0022-8567(2007)802.0.co
- Cornelissen J. H. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D. E., Reich P. B., ter Steege H., Morgan H. D., van der Heijden M. G. A., Pausas J. G., Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurements of plant functional traits worldwide // Australian Journals of Botany. 2003. Vol. 51. № 4. P. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
- Mathematics for Ecology and Environmental Sciences / Eds. Y. Takeuchi, Y. Iwasa, K. Sato. Springer, 2007. 188 p. DOI: 10.1007/978-3-540-34428-5
- Tech A. R. B., da Silva A. L. C., Meira L. A., de Oliveira M. E., Pereira L. E. T. Methods of image acquisition and software development for leaf area measurements in pastures // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 153. P. 278–284. DOI: 10.1016/j.compag.2018.08.025

Благодарности

Исследования выполнены в рамках деятельности по программе Научно-образовательного центра «Дендроэкология и природопользование» и с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Агидель» Уфимского федерального исследовательского центра РАН.

SEASONAL DYNAMICS OF CHANGES IN THE MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH) LEAVES IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL IMPACT (UFA, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

TAGIROVA
Olesya Vasil'evna

Bashkir state pedagogical University. M. Akmulla, olecyi@mail.ru

KULAGIN
Alexey Yur'evich

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Science Center of the Russian Academy of Sciences, coolagin@list.ru

ZAITSEV
Gleb Anatol'evich

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Science Center of the Russian Academy of Sciences, forestry@mail.ru

Key words:
silver birch
industrial center
leaf morphology
variability

Summary: The paper presents the results of the study of seasonal changes in the morphological parameters of leaves of the silver birch (*Betula pendula* Roth). The investigation was carried out in the plantations within the Ufa industrial center. Permanent sample plots were selected taking into account the level of pollution and were laid in the zone of the direct impact of industrial production (the northern part of Ufa) and in the zone of relative control (the western part of the city, the recreation zone). To characterize the features of birch leaves growth, a correlation analysis was performed, and the depth of correlation between the area and the mass of leaves was estimated. The tightness of correlation in the contaminated area and the correlation in May is categorized as “weak”, in June – as “strong”, in July and September – as “moderate”. According to the quantitative characteristics of the correlation tightness, in the zone of relative control the correlation refers to the category of “strong”. The values of mass and area of a birch leaf indicate that in the conditions of industrial pollution the uniform development of leaves was observed during the growing season of 2016. However, the correlation analysis allowed us to establish that there was an ambiguous relationship between the mass and the area of the leaf. It can be explained by the adaptive reactions of birch that occur during the seasonal development of leaves.

Reviewer: G. E. Kudinova

Received on: 16 January 2019

Published on: 01 July 2019

References

- Bradshaw J. D. Rice M. E. Hill J. H. 339:daolsa2.0.co
Cornelissen J. H. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D. E., Reich P. B., ter Steege H., Morgan H. D., van der Heijden M. G. A., Pausas J. G., Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurements of plant functional traits worldwide, Australian Journals of Botany. 2003. Vol. 51. No. 4. P. 335–380. DOI: 10.1071/bt02124
Ermolova L. S. Gul'be Ya. I. Gul'be T. A. Dynamics of foliation of shoots of speckled alder and silver birch during the vegetation season// Lesovedenie. 2014. No. 3. P. 11–22.
Ivanter E. V. Korosov A. V. Introduction to quantitative biology: a study guide. 3-e izd., ispr. i dop. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2014. 298 p.
Kulagin A. A. Zajcev G. A. Larch Sukachev in extreme forest conditions of the southern Urals. M.: Nauka, 2008. 171 p.
Kulagin A. Yu. Tagirova O. V. Forest plantations of the Ufa industrial center: the current state in the conditions of anthropogenic impacts. Ufa: Gilem, Bashk. encikl., 2015. 196 p.
Kulagin Yu. Z. Forest-forming species, technogenesis and forecasting. M.: Nauka, 1980. 116 p.
Kulagin Yu. Z. Woody plants and industrial environment. M.: Nauka, 1974. 124 p.

- Mamaev S. A. Intraspecific variability and problems of introduction of woody plants, Uspehi introdukcii rasteniy. M.: Nauka, 1973. P. 128–140.
- Mathematics for Ecology and Environmental Sciences, Eds. Y. Takeuchi, Y. Iwasa, K. Sato. Springer, 2007. 188 p. DOI: 10.1007/978-3-540-34428-5
- Methods of studying forest communities, E. N. Andreeva, I. Yu. Bakkal, V. V. Gorshkov i dr. SPb.: NIIHimii SpbGU, 2002. 240 p.
- Plohinskiy N. A. Biometrics. M.: Izd-vo MGU, 1970. 367 p.
- Tech A. R. B., da Silva A. L. C., Meira L. A., de Oliveira M. E., Pereira L. E. T. Methods of image acquisition and software development for leaf area measurements in pastures, Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 153. P. 278–284. DOI: 10.1016/j.compag.2018.08.025
- Zaycev G. N. Mathematical statistics in experimental botany in Russia. M., 1984. 424 p.