



Защитное лесоразведение Protective afforestation







DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-155-164

EDN: AKFGIB

УДК 581.151:574.3


Научная статья / Research article

Антропогенное влияние на стабильность развития лесных культур березы повислой *Betula pendula Roth* в зеленой зоне г. Астаны

С.А. Кабанова¹  , И.С. Кочегаров¹ , А.Н. Кабанов^{1,2} ,
М.А. Данченко² , П.Ф. Шахматов¹, В.А. Борцов¹, С.А. Скотт^{2,3} 

¹Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, г. Щучинск, Казахстан

²Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация

³Государственный колледж Колумбуса, г. Колумбус, Соединенные Штаты Америки
 kabanova.05@mail.ru

Аннотация. Степень рекреационной нагрузки влияет на качество среды, что подтверждается изменением величины флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой. При нормальном качестве окружающей среды уровень отклонений минимален, при ухудшении условий среды снижается устойчивость и состояние биоты, а признаком величины изменений является интегральный показатель стабильности развития. Цель исследований — изучение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula Roth*) в зеленой зоне г. Астаны. Объекты исследований — 19-летние искусственные насаждения березы повислой, часть которых в 7-летнем возрасте была подвергнута пересадке из кулис в межкулисные пространства, а часть осталась расти в кулисах. Участок условно разделили на высокое и низкое местоположение в связи с особенностями рельефа. Все изучаемые насаждения в той или иной мере относятся к категории ослабленных. Состояние деревьев постепенно ухудшается и составляет в 2022 г.

© Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Борцов В.А., Скотт С.А., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

66,9...71,2 баллов на пересаженных участках и 72,3...72,4 баллов — на непересаженных пробных площадях. До создания рекреационной зоны в пересаженных культурах на высоком местопроизрастании наблюдалась начальная стадия отклонения от условной нормы. После благоустройства насаждений показатель асимметрии достиг наибольшей величины в 2022 г. во всех изученных насаждениях, кроме пересаженных культур на низком местоположении, которые имели 3–4-й балл по всем годам наблюдений. Пока в данных насаждениях качество среды не достигло критического значения, но в них также наблюдается сильное антропогенное воздействие, так как происходит вытаптывание верхнего слоя почвы из-за прокладки неорганизованных троп. Поэтому нужно принимать лесоводственные и иные меры по увеличению устойчивости и улучшению состояния искусственных насаждений. Необходимо проведение рубок ухода и внесение удобрений в почву, организация регулируемой дорожно-тропиночной сети, усиление контроля за отдыхающими.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, рекреационная зона, стабильность развития, состояние деревьев

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.







Вклад авторов. С.А. Кабанова — планирование и анализ полученных данных, написание текста; И.С. Кочегаров, А.Н. Кабанов — сбор и обработка материалов, написание части текста; В.А. Борцов, М.А. Данченко, П.Ф. Шахматов, С.А. Скотт — сбор и обработка материалов.

Финансирование. Благодарности. Данное исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (№ BR10263776).

История статьи: поступила в редакцию 2 августа 2022 г., принята к публикации 30 июня 2023 г.

Для цитирования: Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Борцов В.А., Скотт С.А. Антропогенное влияние на стабильность развития лесных культур березы повислой *Betula pendula* Roth в зеленой зоне г. Астаны // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С.155–164. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-155-164


Anthropogenic impact on stability of forest crops development of silver birch *Betula pendula* Roth in the green zone of Astana

Svetlana A. Kabanova¹  , Igor S. Kochegarov¹ , Andrey N. Kabanov^{1,2} ,
Matvey A. Danchenko² , Pavel F. Shakhmatov¹,
Valery A. Bortsov¹, Sabina A. Scott^{2,3} 

¹A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

²National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

³Columbus State Community College, Columbus, United States of America

 kabanova.05@mail.ru

Abstract. Recreational load affects the quality of the environment, which is confirmed by the change of fluctuating asymmetry of silver birch leaves. The deviation level of the environmental quality is minimal when the quality is normal. However, when the environmental quality level is declining it leads to decrease in stability and state of biome, which is observed by the sign of the magnitude of changes as the integral indicator of developmental stability. The purpose of the research was to study fluctuating asymmetry of leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) in the green zone of Astana. The objects of research were 19-year-old artificial plantings of silver birch, some of which underwent intercropping practice simultaneously on the same field 7 years after

planting. The planting site was conventionally divided into high and low latitudes due to the vertical elevation change in a landscape. All the studied forest plantings to some degree exhibited a weakening state. The condition of the trees is gradually declining, which constitutes 66.9...71.2 points on replanted plots and 72.3...72.4 points — on non-replanted trial plots in 2022. Prior to the creation of a recreational zone in transplanted crops at a high latitude, an initial stage of deviation from the conventional norm was observed. After the forest crop improvements were implemented, fluctuating leaf asymmetry indicator reached its highest magnitude in 2022 in all the studied crops, except for transplanted crops at a low latitude, which had a 3rd-4th score for all the years of observation. So far, in these forest plantings, the quality of the environment has not reached a critical level, but they also display a strong anthropogenic impact, because of compression of topsoil due to the settling of unorganized paths. Therefore, it is necessary to take silvicultural and other measures to increase sustainability and improve condition and state of artificial forest plantings. It is imperative to carry out plants trimming and utilize soil amendments, organize a regulated road and footpath network, and strengthen control over travelers.

Keywords: fluctuating asymmetry, recreational zone, stability of development, condition of trees

Conflicts of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors contributions. S.A. Kabanova designed the experiments, analyzed the data, wrote the paper; I.S. Kochegarov, A.N. Kabanov — collected and processed the data, wrote the paper; V.A. Bortsov, M.A. Danchenko, P.F. Shakhmatov, S.A. Scott collected and processed the data.

Acknowledgments. The research was funded by the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (no. BR10263776).

Article history: Received: 2 August 2022. Accepted: 30 June 2023.

For citation: Kabanova SA, Kochegarov IS, Kabanov AN, Danchenko MA, Shakhmatov PF, Bortsov VA, Scott SA. Anthropogenic impact on stability of forest crops development of silver birch *Betula pendula* Roth in the green zone of Astana. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):155–164. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-155-164

Введение

Среда оказывает большое влияние на состояние растительного сообщества, при позитивных условиях деревья и кустарники не имеют отклонений от нормы на молекулярно-клеточном, организменно-популяционном и биотическом уровне. При нормальном качестве окружающей среды уровень отклонений минимален, при ухудшении условий среды снижаются устойчивость и состояние биоты, а признаком величины изменений является интегральный показатель стабильности развития [1, 2].

Широко применяется методика измерения флуктуирующей асимметрии (ФА) для листьев березы повислой [3–5], начаты разработки шкал оценки комфортности среды обитания для различных древесных пород, в т.ч. дуба черешчатого [6], вяза [7, 8], клена остролистного [9]. Показатель ФА листового аппарата дает возможность определять все изменения в окружающей среде, даже незначительные отклонения условий, которые еще не проявляются в фенотипе растений, но уже влияют на снижение жизнеспособности [10]. У разных авторов показатель стабильности развития березы повислой имеет различный диапазон величин [11, 12].

Доказано воздействие антропогенных факторов, в т.ч. рекреации, на морфологическую структуру листьев. Степень рекреационной нагрузки влияет на качество среды, что подтверждается изменением величины ФА листьев березы

повислой [13–16]. В то же время имеются противники теории значимости ФА как метода биоиндикации, приводящие в качестве доказательств необходимость исследований взаимосвязи ФА с влиянием стрессовых факторов среды в рамках контролируемых экспериментов [17].

Цель исследований — изучение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в зеленой зоне г. Астаны.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований выбрали 19-летние искусственные насаждения березы повислой, часть которых в 7-летнем возрасте была подвергнута пересадке из кулис в межкулисные пространства, а часть осталась расти в кулисах. Участок условно был разделен на высокое и низкое местоположение в связи с особенностями рельефа. Размещение непересаженных культур — 4,0×1,0 м, пересаженных — 4,0×4,0 м.

Жизненное состояние деревьев на пробных площадях определяли по методике Алексева [18], согласно которой насаждение относилось к категории «здоровое» при вычисленном балле 80...100, «ослабленное» — 50...79 баллов, «сильно ослабленное» — 20...49 баллов.

Листья для проведения исследований собирали с деревьев, произрастающих на открытых участках, с нижней части кроны. На каждой пробной площадке было собрано по 100 листьев с разных деревьев. Изучение ФА листьев начинали с измерений следующих признаков: ширина листа; длина второй жилки второго порядка от основания листа; расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; расстояние между концами этих жилок; угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка. Измерения проводили линейкой и транспортиром на левой и правой половине листьев. Расчеты показателя асимметрии выполняли на основании методических указаний [1, 11]. Система оценок приведена в табл. 1, из которых видно, что в зависимости от величины интегральных показателей стабильности развития определяется уровень отклонения от нормы (условно нормального фонового состояния) [19, 20].

Таблица 1

Шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для *Betula pendula*

Балл	Качество среды	Величина показателя стабильности развития	
		[19]	[20]
I	Условно нормальное	< 0,040	< 0,055
II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы	0,040...0,044	0,056...0,060
III	Средний уровень отклонений от нормы	0,045...0,049	0,061...0,065
IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы	0,050...0,054	0,065...0,070
V	Критическое состояние	> 0,054	> 0,070

Table 1

Scale of assessment of deviations of the state of the organism from the conditional norm by the value of the integral indicator of development stability for *Betula pendula*

Score	Environmental quality	Indicator of development stability	
		Naumova et al. [19]	Dymshakov et al. [20]
I	Conditionally normal	< 0.040	< 0.055
II	Initial (minor) deviations from the norm	0.040...0.044	0.056...0.060
III	Average level of deviations from the norm	0.045...0.049	0.061...0.065
IV	Significant deviations from the norm	0.050...0.054	0.065...0.070
V	Critical condition	> 0.054	> 0.070

Результаты исследования и обсуждение

С момента пересадки деревьев из кулис в межкулисные пространства за лесными культурами проводят наблюдения за ростом и состоянием деревьев. В 2020 г. в данных насаждениях начато благоустройство территории с целью рекреационного использования. Между рядами березы построили велосипедные и пешеходные дорожки с асфальтовым покрытием, установили беседки и другие малые архитектурные формы. Следовательно, насаждения в течение трех лет подвергались антропогенному воздействию, особенно участок непересаженных деревьев на низком местоположении.

Прежде всего мы оценили жизненное состояние лесных культур березы повислой (табл. 2). Все изучаемые насаждения в той или иной мере относятся к категории ослабленных. Состояние деревьев постепенно ухудшается и составляет в 2022 г. 66,9...71,2 балла на пересаженных участках и 72,3...72,4 балла — на непересаженных пробных площадях.

Таблица 2

Оценка жизненного состояния лесных культур *Betula pendula*

Вид лесных культур	Место произрастания	Год наблюдений				
		2010	2019	2020	2021	2022
Непересаженные	Высокое	82,3	72,8	72,5	72,4	72,4
	Низкое	85,1	73,0	72,8	72,4	72,3
Пересаженные	Высокое	42,3	69,4	68,5	67,4	66,9
	Низкое	56,4	73,9	72,7	72,7	71,2

Table 2

Assessment of the vital state of *Betula pendula* forest crops

Type of forest crops	Tree elevation	Year of observations				
		2010	2019	2020	2021	2022
Not transplanted	High	82.3	72.8	72.5	72.4	72.4
	Low	85.1	73.0	72.8	72.4	72.3
Transplanted	High	42.3	69.4	68.5	67.4	66.9
	Low	56.4	73.9	72.7	72.7	71.2

Изначально лучшее состояние имели непересаженные лесные культуры на низком местоположении, возможно из-за близкого уровня грунтовых вод и особенностей рельефа, худшее — пересаженные культуры на высоком местоположении. В первый год после пересадки наблюдался большой отпад пересаженных деревьев, особенно на высоком местоположении. Стабильный показатель сохранности установился к 2019 г., когда сохранность пересаженных культур составила соответственно на низком и высоком местоположении 70,7 и 37,6 %, непересаженных — 92,1 и 91,8 %. Первоначальная общая оценка жизненного состояния на пересаженных лесных культурах имела достаточно низкий балл по сравнению с 2019 г., когда из-за гибели ослабленных и сомнительных деревьев числовой показатель жизненного состояния насаждений увеличился.

В табл. 3 приведены значения показателей ФА листьев березы повислой на пробных участках. К сожалению, сразу после пересадки культур изучение стабильности развития листовых пластинок не проводилось, поэтому приводятся результаты исследований до и после благоустройства территории. До создания рекреационной зоны (2019 г.) лучший балл показателя стабильности развития имели пересаженные деревья на высоком местопроизрастании, хотя там наблюдалась начальная стадия отклонения от условной нормы. У непересаженных деревьев на низком местоположении была стадия значительного отклонения от нормы. Поскольку данные культуры расположены рядом с оживленной автомобильной трассой, в них скапливалось большое количество тяжелых металлов, суммарные концентрации элементов в листьях достигали — 259,6 мг/кг. Кроме того, плотное стояние деревьев негативно влияло на экологическое состояние насаждений. Средней степенью асимметричности характеризовались пересаженные деревья на низком местопроизрастании и непересаженные насаждения на высоком местопроизрастании.

Балл стабильности развития у непересаженных деревьев на низком и высоком местопроизрастании постепенно снижался и достиг к 2022 г. показателя в 5 баллов, что говорит о критическом значении качества среды. Резкое снижение экологической обстановки произошло на участке пересаженных культур на высоком местопроизрастании. После создания рекреационной зоны показатель асимметричности со 2-го балла перешел на 4-й и достиг критического значения в 2022 г. Пересаженные культуры на низком местопроизрастании имели 3–4-й балл по всем годам наблюдений. Вследствие пересадки у деревьев увеличилась площадь питания и освещенность, из-за редкого стояния усилилась продуваемость, что способствовало снижению воздействия вредных выбросов автомобилей, суммарное содержание тяжелых металлов в листьях составило 217,0 мг/кг. Пока в данных насаждениях качество среды не достигло критического значения, но в них также наблюдается сильное антропогенное воздействие, так как происходит вытаптывание верхнего слоя почвы из-за прокладки неорганизованных троп.

**Интегральный показатель стабильности развития
в лесных культурах *Betula pendula***

Вид лесных культур	Место произрастания	Интегральный показатель стабильности развития по годам							
		Степень асимметричности				Значение показателя асимметричности, балл			
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Непересаженные	Высокое	0,0477	0,0508	0,0695	0,101	3	4	5	5
	Низкое	0,0509	0,0524	0,0579	0,068	4	4	5	5
Пересаженные	Высокое	0,0440	0,0508	0,0516	0,082	2	4	4	5
	Низкое	0,0469	0,0512	0,0468	0,053	3	4	3	4

Table 3

Integral indicator of development stability in *Betula pendula* forest crops

Type of forest crops	Tree elevation	Integral indicator of developmental stability by years							
		Degree of asymmetry				Asymmetry index			
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Not transplanted	High	0.0477	0.0508	0.0695	0.101	3	4	5	5
	Low	0.0509	0.0524	0.0579	0.068	4	4	5	5
Transplanted	High	0.0440	0.0508	0.0516	0.082	2	4	4	5
	Low	0.0469	0.0512	0.0468	0.053	3	4	3	4

Заключение

После гибели части пересаженных на низком местоположении культур остались наиболее устойчивые и приспособленные к агрессивным и стрессовым условиям среды деревья. Но все же на данном участке значение показателя асимметричности колеблется в пределах 3–4 баллов, что говорит о среднем и значительном напряжении состояния. Хотя до организации рекреационной зоны пересаженные деревья на высоком местоположении имели незначительное отклонение от нормы, начиная с 2020 г. они быстро теряли устойчивость и к концу исследования достигли критического состояния.

При сопоставлении оценки жизненного состояния и данных ФА листьев видно, что пересаженное насаждение на высоком местопроизрастании имело худшие показатели. Следует отметить, что сохранность пересаженных деревьев составила 37,6 %, деревья были ослабленными и сильно ослабленными. Наоборот, пересаженные деревья на низком местоположении имели достаточно большую сохранность, а в настоящее время жизненное состояние у них хотя и соответствует категории «ослабленное», но по баллам практически не отличается от непересаженных насаждений.

Поскольку состояние лесных культур березы повислой достигло критической отметки, необходимо принимать лесоводственные и иные меры по увеличению

устойчивости и улучшению состояния искусственных насаждений. Необходимо проведение рубок ухода и внесение удобрений в почву, организация регулируемой дорожно-тропиночной сети, усиление контроля за отдыхающими.

Список литературы

1. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубишивили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
2. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests // *Acta Zool. Fenn.* 1992. Vol. 191. P. 57–72.
3. Рамза С.С., Гречнева А.Н. Интегральная экспресс-оценка качества среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula roth*) // Студенческий научный форум: материалы VI Междунар. студенческой науч. конф., 2014. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014003330> Дата обращения: 18.01.2022.
4. Савинцева Л.С., Егошина Т.Л., Ширяев В.В. Оценка урбаноcреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой // Вестник удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2012. № 2. С. 31–37.
5. Беляева Ю.В. Показатели флуктуирующей ассиметрии *Betula pendula* Roth. в условиях антропогенного воздействия (на примере г. Тольятти) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3(7). С. 2196–2200.
6. Луговская Л.А., Землякова А.В., Межова Л.А., Луговской А.М. Оценка комфортности среды по флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого *Quercus robur* // Научные ведомости. 2016. № 18 (239). С. 87–94.
7. Коротченко И.С. Биоиндикация загрязнения районов г. Красноярска по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки вяза приземистого // Вестник КрасГАУ. 2015. № 11. С. 67–72.
8. Максимович М.О., Зайцева А.С. Флуктуирующая асимметрия как способ оценки экологического состояния окружающей среды. Сравнительная характеристика параметров листьев вяза гладкого и осины обыкновенной как индикатора окружающей среды // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2017. № 2 (39). С. 27–28.
9. Кушнарера А.А., Стрельцова Н.Б. Оценка резистентности клена остролистного к загрязнению атмосферного воздуха по флуктуирующей асимметрии листьев // Международный студенческий вестник. 2015. № 2–3. С. 362–363.
10. Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Скотт С.А. Изучение морфологических признаков и флуктуирующей способности листового аппарата березы повислой // Природообустройство. 2021. № 4. С. 116–122. doi: 10.26897/1997-6011-2021-4-116-122
11. Опекунова М.Г., Никулина А.Р., Смешко И.В., Кириченко В.С. Сравнительный анализ эффективности методов биоиндикации при мониторинговых исследованиях состояния окружающей среды в Санкт-Петербурге // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Т. 68. № 2. С. 331–356. doi: 10.21638/srbu07.2023.207
12. Протасова М.В., Проценко Е.П., Петрова И.В., Петров С.С., Сабр С.Ф. Использование методов биоиндекса при исследовании экологического состояния городской среды // Экология. 2019. № 3. С. 136–140. doi: 10.24411/1816-1863-2019-13136
13. Собчак Р.О., Афанасьева Т.Г., Копылов М.А. Оценка экологического состояния рекреационных зон методом флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula Roth* // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 368. С. 195–199.
14. Рунова Е.М., Гнаткович П.С. Экологическая оценка рекреационных зон города Братска методом флуктуирующей асимметрии березы повислой // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 223–227.
15. Тищенко С.А. Оценка состояния рекреационных территорий Ростова-на-Дону с использованием метода флуктуирующей асимметрии // VIII Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». 2017. С. 418–422.
16. Кобланова С.А. Фитомониторинг состояния рекреационных зон г. Костаная методом флуктуирующей асимметрии на примере тополя бальзамического (*Populus balsamifera*) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. Т. 18. № 1. С. 508–510. doi: 10.14258/pbssm.2019106
17. Козлов М.В. Исследования флуктуирующей асимметрии растений в России: мифология и методология // Экология. 2017. № 1. С. 3–12. doi: 10.7868/S0367059717010103
18. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

19. Наумова А.А., Стрельцов А.Б. Методика оценки степени флуктуирующей асимметрии листовых пластинок на примере березы повислой (бородавчатой) (*Betula pendula* Roth.) // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2020. № 3. С. 303–311.

20. Дымышкова А.В., Левашова А.А. Использование методов биоиндикации в оценке состояния окружающей среды на примере почвы и атмосферного воздуха // Вестник Курганского государственного университета. 2015. № 4 (38). С. 53–55.

References

1. Zakharov VM, Baranov AS, Borisov VI, Valetsky AV, Kryazheva NG, Chistyakova EK, et al. *Zdorov'e sredy: metodika otsenki* [Environmental health; assessment methodology]. Moscow; 2000. (In Russ.).

2. Palmer AR, Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zool Fenn.* 1992;191:57–72.

3. Ramza SS, Grechneva AN. Integral express assessment of environmental quality based on fluctuating asymmetry of silver birch leaf blade (*Betula pendula* Roth). *Student Scientific Forum: conference proceedings.* 2014. p.22–26. (In Russ.).

4. Savintseva LS, Egoshina TL, Shiryayev VV. The estimation of urban environment quality on the basis of analyses of *Betula pendula* Roth. development stability. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Science.* 2012;(2):31–37. (In Russ.).

5. Belyaeva YV. Indicators fluctuating asymmetry *Betula pendula* Roth. in the conditions of anthropogenic impact (illustrated Togliatti). *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2013;15(3–7):2196–2200. (In Russ.).

6. Lugovskaya LA, Zemlyakova AV, Mezkhova LA, Lugovskoy AM. Assessment of state for the environment fluctuating asymmetry of *Quercus robur* L. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences.* 2016;(18):87–94. (In Russ.).

7. Korotchenko IS. Bioindication of pollution of districts of Krasnoyarsk in size of the fluctuating asymmetry of the sheet plate of Siberian elm. *Bulletin of KrasSAU.* 2015;(11):67–72. (In Russ.).

8. Maksimovich MO, Zaitseva AS. Fluctuating asymmetry as a way to assess the ecological state of the environment. Comparative characteristics of leaves of European white elm and common aspen as an indicator of the environment. *Byulleten' Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta.* 2017;(2):27–28. (In Russ.).

9. Kushnareva AA, Streltsova NB. Assessment of resistance of holly maple to atmospheric air pollution by fluctuating asymmetry of leaves. *International Student Scientific Bulletin.* 2015;(2–3):362–363. (In Russ.).

10. Kabanova SA, Kabanov AN, Danchenko MA, Shahmatov PF, Scott SA. Study of morphological features and fluctuating ability of the leaf apparatus of the silver birch. *Environmental Engineering.* 2021;(4):116–122. (In Russ.). doi: 10.26897/1997-6011-2021-4-116-122

11. Opekunova MG, Nikulina AR, Smeshko IV, Kirichenko VS. Comparative analysis of the effectiveness of bioindication methods in monitoring environmental studies in St. Petersburg. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences.* 2023;68(2):331–356. (In Russ.). doi: 10.21638/spbu07.2023.207

12. Protasova MV, Protsenko EP, Petrova IV, Petrov SS, Sabr SF. The use of bioindication methods in the study of the ecological state of the urban environment. *Ekologia.* 2019;(3):136–140. (In Russ.). doi: 10.2441 / 1816-1863-2019-13136

13. Sobchak RO, Afanasyeva TG, Kopylov MA. Evaluation of recreation areas ecological state by method of *Betula pendula* Roth. leaves fluctuating asymmetry *Tomsk State University Journal.* 2013;(368):195–199. (In Russ.).

14. Runova EM, Gnatkovich PS. Ecological estimation of recreational areas by city of Bratsk fluctuating asymmetry silver birch. *Fundamental research.* 2013;(11–2):223–227. (In Russ.).

15. Tishchenko SA. Assessment of the state of Rostov-on-Don recreational territories using fluctuating asymmetry method. *Ecological problems. A look into the future: Conference proceedings.* 2017. p.418–422. (In Russ.).

16. Koblanova SA. Phytomonitoring of the state of recreational zones in Kostanay using fluctuating asymmetry method on *Populus balsamifera*. *Problems of botany of South Siberia and Mongolia.* 2019;18(1):508–510. (In Russ.). doi: 10.14258/pbssm.2019106

17. Kozlov MV. Plant studies on fluctuating asymmetry in Russia: mythology and methodology. *Ekologia.* 2017;(1):3–12. (In Russ.). doi: 10.7868/S0367059717010103

18. Alekseev VA. Diagnostics of the vital state of trees and stands. *Russian Journal of Forest Science.* 1989;(4):51–57. (In Russ.).

19. Naumova AA, Streltsov AB. Methodology for evaluating the degree of a fluctuating asymmetry of sheet lamps on the example of single birch (waterfishing) (*Betula pendula* Roth.). *StudNet.* 2020;3(3):303–311. (In Russ.).

20. Dymshakov AV, Levashova AA. Using methods bioindication in environmental assessment, for example soil and air. *Bulletin of Kurgan State University.* 2015;(4):53–55. (In Russ.).

Об авторах:

Кабанова Светлана Анатольевна — кандидат биологических наук, доцент, заведующая отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: kabanova.05@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3117-7381 SPIN-код: 3897-4757

Кочегаров Игорь Сергеевич — младший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021704, Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: garik_0188@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1185-5218, SPIN-код: 8313-4687

Кабанов Андрей Николаевич — аспирант кафедры биологических наук, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36; старший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: 7058613132@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5479-3689 SPIN-код: 9628-4453

Данченко Матвей Анатольевич — кандидат географических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36; e-mail: mtd2005@sibmail.com

ORCID: 0000-0002-5974-9556 SPIN-код: 8209-8687

Шахматов Павел Федорович — младший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: cektop-aral@mail.ru SPIN-код: 5473-5866

Борцов Валерий Анатольевич — младший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: bortsov_1969@mail.ru SPIN-код: 5324-2516

Скотт Сабина Артуровна — аспирант биологических наук, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36; доцент микробиологических наук, Общественный колледж штата Колумбус, 43015, Соединенные Штаты Америки, штат Огайо, г. Колумбус, ул. Спринг, д. 550 Е; e-mail: sscott73@csc.edu

ORCID: 0000-0002-2029-8938 SPIN-код: 8377-3899

About authors:

Kabanova Svetlana Anatolyevna — Candidate of Biological Sciences, Associate professor, Head of the Department of Reforestation and Afforestation, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: kabanova.05@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3117-7381 SPIN: 3897-4757

Kochegarov Igor Sergeevich — Junior researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: garik_0188@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1185-5218 SPIN: 8313-4687

Kabanov Andrey Nikolayevich — Senior researcher, PhD student, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: 7058613132@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5479-3689 SPIN: 9628-4453

Danchenko Matvey Anatolyevich — Candidate of Geographical Sciences, Associate professor, National Research Tomsk State University, 36 Lenina ave., Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: mtd2005@sibmail.com

ORCID: 0000-0002-5974-9556 SPIN: 8209-8687

Shakhmatov Pavel Fedorovich — Junior researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: cektop-aral@mail.ru SPIN: 5473-5866

Bortsov Valery Anatolyevich — Junior researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: bortsov_1969@mail.ru SPIN: 5324-2516

Scott Sabina Arturovna — PhD student, National Research Tomsk State University, 36 Lenina ave., Tomsk, 634050, Russian Federation; Assistant Professor, Columbus State Community College, 550 E Spring Street, Columbus, Ohio, USA, 43015; e-mail: sscott73@csc.edu

ORCID: 0000-0002-2029-8938 SPIN: 8377-3899