

Лесное хозяйство

Оригинальная статья

УДК 502/504:630*.181:574:581.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-116-122

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛИСТОВОГО АППАРАТА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

КАБАНОВА СВЕТЛАНА АНАТОЛЬЕВНА^{1✉}, канд. биол. наук, заведующая отделом воспроизводства лесов и лесоразведения

Kabanova.05@mail.ru[✉]

идентификатор ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3117-7381>

КАБАНОВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ¹, магистр, научный сотрудник

ankabn@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5479-3689

ДАНЧЕНКО МАТВЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ^{2✉}, канд. геогр. наук, доцент

mtd2005@sibmail.com[✉]

ORCID: 0000-0002-5974-9556

ШАХМАТОВ ПАВЕЛ ФЕДОРОВИЧ¹, магистр, младший научный сотрудник

sektor-aral@mail.ru 021704

СКОТТ САБИНА АРТУРОВНА^{3✉}, аспирант, адъюнкт-преподаватель микробиологии

sscott73@cscc.edu[✉]

идентификатор ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2029-8938>

¹ Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации; 024700, Акмолинская область, г. Щучинск, ул. Кирова, 58, Казахстан

² Биологический институт Томского государственного университета, кафедра лесного хозяйства и ландшафтного строительства; г. Томск, пр. Ленина, 36, Россия

³ Государственный колледж Колумбуса; штат Огайо, г. Колумбус, ул. Ист-Спринг, 550. США

В результате усиливающегося антропогенного и техногенного воздействия на лесные экосистемы особую значимость приобрел экологический мониторинг изменяющихся показателей роста и состояния деревьев. Наряду с множеством традиционных способов наблюдений, основанных на проведении анализа проб воды, почвы и воздуха, в последнее время применяются методы биоиндикации ассимиляционного аппарата, которые показывают уровень изменения морфологических признаков деревьев в зависимости от внешнего негативного воздействия среды. Цель исследований – определение состояния лесных культур березы повислой в зеленой зоне г. Нур-Султана методами биоиндикации. Объектом исследований являлся ассимиляционный аппарат 12-летних лесных культур березы повислой, которые в 7-летнем возрасте были пересажены из кулис в межкулисные пространства. Изучены морфологические признаки и флуктуирующая асимметрия листьев. Культуры березы повислой классифицировались как ослабленные насаждения, имеющие коэффициент относительной жизнеспособности от 54,2 до 73,0%. В 2019 г. среднему уровню отклонения от нормы соответствовали пересаженные на низком местоположении и непересаженные на высоком местоположении культуры. Незначительное отклонение от нормы наблюдалось у пересаженных на высоком местоположении деревьев. В 2020 г. состояние посадок березы повислой снизилось до 4-го балла показателя асимметричности. Ухудшение состояния деревьев связано с усиливающейся антропогенной нагрузкой на насаждения и загрязнением окружающей среды. Поскольку давление указанных негативных факторов на окружающую среду не снизится, а будет только увеличиваться, предлагается начинать принимать меры по увеличению устойчивости насаждений (провести рубки ухода, внести удобрения и стимуляторы и пр.).

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, береза повислая, зеленая зона, состояние

Формат цитирования: 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.

© Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Скотт С.А., 2021

Original article

STUDY OF MORPHOLOGICAL FEATURES AND FLUCTUATION ABILITY OF THE LEAF APPARATUS OF THE SILVER BIRCH

KABANOVA SVETLANA ANATOLJEVNA¹✉, candidate of biological sciences, head of the department of forest reproduction and afforestation

Kabanova.05@mail.ru✉

identifier ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3117-7381>

KABANOV ANDREJ NILOLAEVICH¹, holder of a master's degree, a researcher

ankabn@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5479-3689

DANCHENKO MATVEJ ANATOLJEVICH²✉, candidate of geographical sciences, associate professor

mtd2005@sibmail.com✉

ORCID: 0000-0002-5974-9556

SHAHMATOV PAVEL FEDOROVICH¹, junior researcher

cektop-aral@mail.ru 021704

SCOTT SABINA ARTUROVNA³✉, post graduate student, assistant-lecturer of microbiology

sScott73@csc.edu✉

идентификатор ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2029-8938>

¹ Kazakh research institute of forestry and agro forest reclamation; 024700, Kazakhstan, Akmolinskaya region, town Shchuchinsk, ul. Kirova, 58

² Biological institute of TSU state university, department of forestry and landscape building. Russia, Tomsk, pr. Columbus

³ Columbus State College. state Ohio, town Columbus, str. East-Spring. 550. USA

As a result of the increasing anthropogenic and technogenic impact on forest ecosystems, ecological monitoring over the changing indicators of growth and condition of trees has acquired a particular importance. Along with many traditional observation methods based on the analysis of water, soil and air samples, methods of bioindication of the assimilation apparatus have recently been used, which show the level of changes in the morphological characteristics of trees depending on the external negative impact of the environment. The purpose of the research is to determine the state of silver birch forest cultures in the green zone of a city of Nur-Sultan using bioindication methods. The object of research was the assimilation apparatus of 12-year-old silver birch forest cultures which at the age of 7 were transplanted from the strips to the spaces between strips. The morphological features and fluctuating asymmetry of the leaves were studied. The crops of silver birch were classified as weakened plantations with a coefficient of relative viability of 54.2-73.0%. In 2019, the average level of deviation from the norm corresponded to the crops transplanted at a low elevation and non-transplanted at a high elevation, a slight deviation from the norm was observed in trees transplanted at a higher elevation. In 2020, condition of silver birch plantings decreased to the 4th point of the asymmetry index. The deterioration of the condition of trees is associated with an increasing anthropogenic load on plantations and environmental pollution. Since the pressure of these negative factors on the environment will not decrease, but will only exponentially rise, it is proposed to start taking measures to increase the sustainability of plantings (thinning, use of fertilizers, and addition of growth stimulants, etc.).

Keywords: fluctuating asymmetry, silver birch, green zone, condition

Format of citation: Kabanova S.A., Kabanov A.N., Danchenko M.A., Shahmatov P.F., Scott S.A. Study of morphological features and fluctuation ability of the leaf apparatus of the silver birch // Природообустройство. – 2021. – № 4 – С. 116-122. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-116-122.

Введение. В результате усиливающегося антропогенного и техногенного воздействия на лесные экосистемы особую значимость приобрел экологический мониторинг изменяющихся показателей роста и состояния деревьев. Наряду с множеством традиционных способов наблюдений, основанных на проведении анализа проб воды, почвы и воздуха, в последнее время популярность набирают методы биоиндикации ассимиляционного аппарата, которые показывают уровень изменения морфологических признаков деревьев в зависимости от внешнего негативного воздействия среды. Данные методы основаны на изучении отклонений морфологических и биометрических признаков от показателей нормального состояния, причиной которых является техногенное и антропогенное воздействие.

Выявлено влияние антропогенного воздействия как определенного стрессора на морфологическую структуру листьев деревьев. Оптимальное развитие древесных видов поддерживается сложной системой буферных гомеостатических механизмов, которые откликаются на любое изменение среды – как положительное, так и отрицательное. При наступлении неблагоприятных условий действие данных механизмов нарушается, состояние растений изменяется. Для определения степени изменения гомеостаза развития применяется метод флуктуирующей асимметрии, при котором оценка происходит с точки зрения морфологии растения [1].

Под флуктуирующей асимметрией понимают небольшие случайные отклонения от двусторонней симметрии у древесных видов или их частей (например, листьев березы). В данном случае величина флуктуирующей асимметрии служит для определения степени антропогенного и техногенного загрязнения. При нормальном состоянии окружающей среды уровень отклонений минимален, при возрастающем негативном воздействии он увеличивается, что ведет к повышению асимметрии [2, 3]. При определении показателя флуктуирующей асимметрии и его отклонения от нормы можно судить о начальных, даже незначительных изменениях параметров среды, еще не приводящих к существенному снижению жизнеспособности насаждения [4]. В настоящее время применение флуктуирующей асимметрии нашло широкое применение при определении состояния урбанизированной среды [5-7]. Кроме березы повислой, определяются показатели

флуктуирующей асимметрии у листьев липы мелколистной [8, 9].

Целью исследований являлось определение состояния лесных культур березы повислой в зеленой зоне г. Нур-Султана методами биоиндикации.

Материалы и методы. Объектом исследований являлся ассимиляционный аппарат 12-летних лесных культур березы повислой, произрастающих в зеленой зоне г. Нур-Султана (бывший город Астана) рядом с автомобильной трассой. Посадки пригородных лесов создавались как защитные насаждения кулисами и с межкулисными пространствами шириной по 24 м. Размещение деревьев в кулисах составляет 4×1 м. В возрасте 7 лет часть деревьев из кулисных культур была пересажена в межкулисные пространства путем кейсовой посадки с комом земли с размещением 4×4 м. Поскольку рельеф участка неоднороден, пробные площади были заложены на низком и высоком местопроизрастании. Остальные почвенно-климатические условия одинаковы: почвы темно-каштановые, категория лесопригодности – лесопригодные, гранулометрический состав почвы – средний суглинок. Климат в районе исследований резко континентальный. За пересаженными деревьями и культурами, оставшимися произрастать в кулисах, проводятся мониторинговые наблюдения с 2010 г.

Листья собирались с не пересаженных деревьев – с крайних рядов, чтобы освещенность была равномерной. Сбор материала проводился после остановки роста листьев, из нижней части кроны дерева с максимального количества доступных веток по 10 штук с каждого модельного дерева. Всего на пробной площади было обследовано до 20 деревьев.

Проведение изучения флуктуирующей асимметрии листьев начиналось с измерения их по 5 признакам. Измерения проводились линейкой и транспортиром. Результаты исследований заносились в таблицу. Для мерных признаков величина асимметрии у растений рассчитывалась как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах [10-13]. Степень отклонений показателей от нормы определялась по балльной шкале, согласно которой один балл соответствует условной норме, 5-й балл – критическому состоянию [14].

Результаты и обсуждение. В таблице 1 приведены данные по флуктуирующей способности листьев березы повислой по результатам исследований 2019 и 2020 гг.

Таблица 1

Интегральный показатель стабильности развития в лесных культурах березы повислой

Table 1

Integral indicator of stability of development in forest crops of silver birch

Вид лесных культур и место произрастания <i>Type of forest crops and place of growth</i>	Интегральный показатель стабильности развития <i>Integral indicators of development stability</i>				Оценка жизненного состояния, % <i>Assessment of the life state, %</i>	
	степень асимметричности <i>degree of asymmetry</i>		значение показателя асимметричности, балл <i>value of asymmetry indicator, ball</i>		2019	2020
	2019	2020	2019	2020		
Не пересаженные, на высоком местопроизрастании <i>Untransplanted, at a high growth site</i>	0,0477±0,01	0,0508±0,02	3	4	62,8	65,7
Не пересаженные, на низком местопроизрастании <i>Untransplanted, at a low growth site</i>	0,0509±0,02	0,0524±0,02	4	4	73,0	72,8
Пересаженные, на высоком местопроизрастании <i>Transplanted, at a high growth site</i>	0,0440±0,02	0,0508±0,01	2	4	54,2	52,3
Пересаженные, на нижнем местопроизрастании <i>Transplanted, at a low growth site</i>	0,0469±0,03	0,0512±0,02	3	4	65,8	66,1

Поскольку оценку состояния окружающей среды можно определить по различным морфологическим и качественным показателям, было выявлено состояние всех деревьев на участке. Все насаждения березы повислой в той или иной степени относились к ослабленным насаждениям по градации В.А. Алексеева [15] (табл. 1). В 2019 г. пересаженные на высоком местоположении дерева имели балл относительной жизнеспособности (ОЖС) 54,2%, что являлось наименьшим значением. Лучшее жизненное состояние имели не пересаженные культуры в низком местоположении (73,0%). В 2020 г. данные показатели не изменились, так как культуры перешли в состояние относительного равновесия, и выпадов ослабленных деревьев не наблюдалось.

В 2019 г. наибольшей средней площадью листа характеризовались деревья на не пересаженном участке в низком местоположении, причем показатель стабильности соответствовал 4-му баллу, что свидетельствует о сильном отклонении от нормы. На ухудшение экологической обстановки влияло плотное стояние деревьев на участке, что способствовало слабой продуваемости культур и скоплению вредных выбросов от рядом расположенной автотрассы.

Пересаженные на низком местоположении и не пересаженные на высоком местоположении культуры соответствовали среднему уровню отклонения от нормы. Незначительное негативное влияние среды наблюдалось у пересаженных деревьев на высоком

местоположении, имеющих значение показателя асимметричности 2 балла.

В 2020 г. все посадки березы повислой снизили балл показателя асимметричности до 4-х. Это значит, что появились существенные отклонения от нормы ввиду увеличивающейся антропогенной нагрузки и, возможно, многолетнего повреждения листьев березовым пилильщиком.

При соотношении относительного жизненного состояния и факторов окружающей среды видим, что, несмотря на ухудшение состояния окружающей среды ввиду антропогенного воздействия, наиболее высокий коэффициент жизненного состояния имело не пересаженное насаждение в низком местоположении, это говорит об его устойчивости к неблагоприятным факторам среды. Однако следует учитывать, что состояние окружающей среды приближается к критическому, поэтому необходимы дальнейшие наблюдения за флуктуирующей асимметрией листьев для своевременного выявления необходимости проведения мероприятий по минимизированию влияния неблагоприятных факторов (проведение рубок ухода и пр.).

Кроме флуктуирующей асимметрии немаловажное значение в определении роли воздействия окружающей среды играют морфологические признаки листовой пластинки, особенно степень их вариабельности. В таблице 2 приведены данные по основным параметрам листовой пластинки березы повислой. Наибольшими размерами обладали листья пересаженных деревьев на низком местоположении,

листовые пластинки не пересаженных растений практически не различались между собой относительно местоположения. Следует отметить небольшие размеры листьев березы у пересаженных на верхнем местоположении деревьев. Это вполне объяснимо недостатком влаги и питательных веществ, которые наблюдаются при повышении рельефа.

Морфологические признаки листовой пластины весьма вариабельны, тем не менее у ряда признаков наблюдался низкий коэффициент варьирования. Наибольшую изменчивость имеют относительные признаки (отношение длины листа к расстоянию до первого зубца, расстояние от основания листа до наиболее широкой части, отношение общей длины листа к длине черешка и др.), а также некоторые количественные признаки: расстояние до первого зубца (23,5...30,5%), расстояние между концами 2-й и 3-й жилками (18,5...30,1%) и длина черешка (19,5...26,5%). Наибольшими размерами обладали листья пересаженных деревьев на низком местоположении, но по их признакам

наблюдался высокий коэффициент вариации, колеблющийся на среднем и повышенном уровнях (17,4...21,8%). Наибольшей вариабельностью отличался морфологический признак – угол основания пластинки листа (42,2...53,3%). Следовательно, листовые пластинки значительно различались по размерам и форме.

Строгая закономерность в изменчивости признаков листа не наблюдалась. Ценными в феногеографическом и таксономическом отношении можно считать размеры листьев, их форму, число жилок и расстояние между ними. Эти признаки имеют наибольшее количество связей и объединяют вокруг себя все остальные, в большей мере контролируются генотипическими особенностями, чем условиями формирования.

В результате дисперсионного анализа с целью определения различий между морфологическими признаками выявлено, что имеется тесная взаимосвязь между показателями, и они достоверно различаются между собой: $p < 3$, F критическое – 1,75.

Таблица 2
Морфологические признаки листовых пластинок березы повислой

Table 2

Morphological features of leaf plates of silver birch

Длина черешка, см <i>Length of petiole, cm</i>	Длина листа, см <i>Length of the leaf, cm</i>	Ширина листа, см <i>Width of the leaf, cm</i>	Расстояние между концами 2 и 3 жилок, см <i>Distance between rings of 2 and 3 veins, cm</i>	Расстояние до первого зубца, см <i>Distance up to the first tooth, cm</i>	Удаление наиболее широкой части листа от основания, см <i>Distance of the widest part of the leaf from the base, cm</i>	Число пар боковых жилок, шт <i>Quantity of pairs of side veins, pcs</i>	Число зубцов между концами 2 и 3 жилок, шт <i>Quantity of teeth between the ends 2 and 3 veins, pcs</i>	Угол отклонения второй жилки, град <i>Angle of distraction of the second vein, degree</i>
Пересаженные низкое местоположение / Transplanted at a low site								
1,8±0,06	6,3±0,9	6,4±1,3	0,9±0,03	1,4±0,05	2,1±0,05	7,1±1,1	3,1±0,1	38,0±0,6
Не пересаженные низкое местоположение / Untransplanted at a low site								
1,7±0,04	5,5±0,1	4,1±0,1	1,0±0,03	1,5±0,06	2,1±0,04	6,1±0,1	3,6±0,1	41,2±1,0
Не пересаженные верхнее местоположение / Untransplanted at a high site								
1,8±0,03	5,3±0,8	4,1±0,9	0,9±0,04	1,4±0,06	2,1±0,04	5,7±0,9	3,5±0,1	41,8±0,8
Пересаженные верхнее местоположение / Transplanted at a high site								
1,7±0,05	5,1±0,9	3,9±0,8	0,7±0,04	1,5±0,01	2,0±0,5	5,9±0,8	3,2±0,4	38,2±0,9

Выводы

В 2019 г. на не пересаженном участке, на низком местоположении, показатель стабильности соответствовал 4-му баллу, что свидетельствует о сильном отклонении от нормы. Данные культуры наиболее подвержены негативному стрессовому влиянию находящейся рядом автотрассы, следовательно, качество воздуха и состояние среды там является близким к критическому. Но в то же время рядом

расположенные пересаженные деревья на низком местопроизрастании имеют показатель, указывающий на среднее отклонение от нормы. Это происходит ввиду более редкого стояния деревьев, увеличенной площади питания, что положительно сказывается на их состоянии и устойчивости к пыле- и газозагрязнению. Незначительное негативное влияние среды наблюдалось у пересаженных и не пересаженных деревьев на высоком местоположении,

имеющих значение показателя асимметричности 2 и 3 балла соответственно. Это обусловлено удаленностью насаждений от источника загрязнения (автодороги). Низкое значение асимметричности листьев пересаженных деревьев на высоком местопрорастании можно обосновать сильным отпадом деревьев после пересадки, так как в результате прижились и сохранились наиболее устойчивые, приспособленные к стрессующим факторам среды деревья.

В 2020 г. все посадки березы повислой снизили балл показателя асимметричности до 4-х. По сравнению с результатами наблюдений предыдущего года видим, что значительно

изменился указанный коэффициент у пересаженных деревьев на высоком местоположении. За последние годы были проведены ландшафтное строительство и благоустройство территории, на которой произрастает береза повислая, вследствие чего усилилась антропогенная и техногенная нагрузка, а состояние деревьев ухудшилось. Поскольку указанные факторы давления негативных факторов на окружающую среду не снизятся, а будут только увеличиваться, необходимо начинать принимать меры по усилению устойчивости насаждений (проведение рубок ухода с целью расширения площади питания, внесение удобрений и стимуляторов и пр.).

Данное исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (№ BR10263776). This study is funded by the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (NoBR10263776).

Библиографический список

1. **Захаров В.М.** Здоровье среды: методика оценки / А.С. Баранов, В.И. Борисов и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
2. **Palmer A.R., Strobeck, C.** Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of nonnormal distributions and power of statistical tests // *Acta Zool. Fenn.* – 1992. – Vol. 191. – P. 57-72.
3. **Корона В.В., Васильев А.Г.** Строение и изменчивость листьев растений: основы модульной теории. 2-е изд., испр. и доп. – Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2007. – 280 с.
4. **Рамза С.С., Гречнева А.Н.** Интегральная экспресс-оценка качества среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластины березы повислой (*Betula pendularoeth*) // Мат-лы VI Междун. студенческой научной конф. «Студенческий научный форум», 2014. – Саратов: ООО Научно-изд. центр «Академия Естествознания», 2014.
5. **Протасова М.В., Белова Т.А.** Оценка состояния окружающей среды по показателям флуктуирующей асимметрии листьев древесных растений // *Электронный научный журнал Курского государственного университета.* – 2018. – № 3 (19). – С. 17-24.
6. **Савинцева Л.С., Егوشي́на Т.Л.** Оценка урбано́среды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой // *Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле.* – 2012. – Вып. 3. – С. 31-37.
7. **Беляев Ю.В.** Показатели флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth. в условиях антропогенного воздействия (на примере г. Тольятти) // *Известия Самарского научного*

References

1. **Zaharov V.M.** Zdorovje sredy; metodika otsenki / Baranov A.S., Borisov V.I. i dr. – M.: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii, 2000. – 68 s.
2. **Palmer A.R., Strobeck, C.** Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of nonnormal distributions and power of statistical tests // *Acta Zool. Fenn.* 1992. Vol. 191. – P. 57-72.
3. **Korona V.V., Vasiljev A.G.** Stroenie i izmenchivost listjev rastenij: osnovy modulnoj teorii. 2-e izd, ispr. i dop. – Ekaterinoburg: IERiZH YrO RAN, 2007. – 280 s.
4. **Ramza S.S., Grechneva A.N.** Integralnaya express-otsenka kachestva sredy po fluktuiruyushchej assimetrii listvoj plastiny berezy povisloy (*Betula pendularoeth*) // *Mat-ly VI Mezhdun. Studencheskoj nauchnoj konf. «Studenchesky nauchny forum»*, 2014. – Saratov: OOO Nauchno-izdatelsky tsentr «Academiya Estestvoznaniya», 2014.
5. **Protasova M.V., Belova T.A.** Otsenka sostoyaniya okruzhayushchej sredy po pokazatelyam fluktuiruyushchej assimetrii listjev drevesnyh rastenij // *Elektronny nauchny zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018. – № 3 (19). – S. 17-24.
6. **Savintseva L.S., Egoshina T.L.** Otsenka urbanosredy g. Kirova na osnove analiza fluktuiruyushchej assimetrii listvoj plastinki breezy povisloy // *Vestnik udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle.* – Vyp. 3. – 2012. – s. 31-37.
7. **Belyaev Yu.V.** Pokazateli fluktuiruyushchej assimetrii *Betula pendula* Roth. v usloviyah antropogennogo vozdejstviya (na primere g. Toljyatti) // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra*

центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 3(7). – С. 2196-2200.

8. Баранов С.Г., Зыков И.Е., Федорова Л.В. Изучение внутривидовой изменчивости листьев липы мелколистной (*Tiliacordata* Mill) на основе билатеральной асимметрии листовых пластин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2015. – № 2 (30). – С. 134-145.

9. Федорова Т.А. Флуктуирующая асимметрия листа липы мелколистной (*Tiliacordata* Mill) как биоиндикационный параметр оценки качества среды // Вестник Курганского государственного университета. – 2013. – № 6. – С. 41-43.

10. Горшков М.В. Экологический мониторинг: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 312 с.

11. 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.

12. Белюченко И.С. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие / И.С. Белюченко, Е.В. Федоненко и др. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с.

13. Опекунова М.Г. Биоиндексация загрязнений: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во С. – Петерб. ун-та, 2016. – 300 с.

14. Об утверждении Методических рекомендаций по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ: Распоряжение Росэкологии РФ от 16 октября 2003 г. – № 460-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901879474>.

15. Алексеев В.А. Диагностика жизненно-го состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51-57.

Rossijskoj akademii nauk. – 2013. – Т. 15, № 3(7). – С. 2196-2200.

8. Baranov S.G., Zykov I.E., Fedorova L.V. Izuchenie vnutrividivij izmenchivosti listjev lipy melkolistnoj (*Tiliacordata* Mill) na osnove bilateralnoj assimetrii listovyh plastin // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. – 2015. – № 2 (30). – S. 134-145.

9. Fedorova T.A. Fluktuiruyushchaya assimetriya lista lipy melkolistnoj (*Tiliacordata* Mill) kak bioindikatsionnyj parameter otsenki kachestva sredy // Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2013. – № 6. – S. 41-43.

10. Gorshkov M.V. Ekologicheskyy monitoring: uchebnoye posobie. – Vladivostok: Izd-vo TGEU, 2010. – 312 s.

11. Naumova A.A., Streltsov A.B. Metodika otsenki stepeni fluktuiruyushchej assimetrii listovyh plastinok na primere breezy povisloy (borodavchatoj) (*BETULA PENDULA ROTH.*) // Nauchno-obrazovatelny zhurnal dlya studentov i prepodavatelej «StudNet». – 2020. – № 3. – S. 303-311.

12. Biomonitoring sostoyaniya okruzhayushchej sredy: uchebnoye posobie / Belyuchenko I.S., Fedonenko E.V. i dr. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 153 s.

13. Opekunova M.G. Bioindekatsiya zagryaznenij: ucheb. posobie. – SPb. Izd-vo S. – Peterb. un. – ta, 2016. – 300 s.

14. Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendatsij po vypolneniyu otsenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivyyh sushchestv. – Rasporyazhenie Rosekologii RF ot 16 oktyabrya 2003 goda. – № 460-r. <https://docs.cntd.ru/document/901879474>

15. Alekseev V.A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derevjev i drevostoev // Lesovedenie. – 1989. – № 4. – S. 51-57.

Критерии авторства

Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Скотт С.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 30.06.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

Criteria of authorship

Kabanova S.A., Kabanov A.N., Danchenko M.A., Shahmatov P.F., Scott S.A. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 30.06.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021