

УДК 630\*181.6:630\*425

### ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Р.А. ОСИПЕНКО – ассистент кафедры экологии,  
природопользования и защиты леса\*,  
e-mail: regi\_voronina@mail.ru

А.Е. ОСИПЕНКО – ассистент кафедры лесоводства\*,  
e-mail: osipenko\_alexey@mail.ru

\* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,  
тел.: 8 (343) 261-52-88

**Ключевые слова:** *флуктуирующая асимметрия, хвоя, подрост, сосна обыкновенная, пробная площадь.*

Статья посвящена изучению параметров хвои соснового подростка. Исследование проводилось на 5 временных пробных площадях, расположенных в северо-восточном направлении на расстоянии 200, 300, 450, 650 и 1400 м от горнодобывающего предприятия ОАО «Святогор», расположенного на территории Кушвинского лесничества Свердловской области. ПП закладывались в естественных насаждениях с однородными по составу, полноте, запасу, средним показателям диаметра и высоты древостоями. Для оценки состояния подростка сосны было проведено изучение его хвои по следующим показателям: длина, ширина, ширина полусферической стороны, общая площадь поверхности, а также был определен индекс флуктуирующей асимметрии хвои. Хвоя отбиралась попарно с побегов последних трех лет (2015–2017 гг.) в количестве 10 шт. с 10 молодых растений сосны на каждой ПП. В ходе исследований установлено, что индекс флуктуирующей асимметрии имеет критическое значение на ПП 1 в 2015 и 2017 гг. и на ПП 2–5 в 2016 гг. Данный показатель для рассмотренных ПП изменяется ежегодно, и какая-либо определенная тенденция практически не прослеживается на всех ПП, кроме ПП 2, на которой наблюдаются минимальные колебания и относительно одинаковые значения морфобиологических показателей. Ширина хвоинок на всех площадях находится в пределах от 0,97 (ПП 5, 2015 г.) до 1,5 мм (ПП 3, 2017 г.) при среднем значении 1,1 мм. Наибольшее среднее значение поверхности хвоинок наблюдается на ПП 1 и 2 в 2015 г., на ПП 3 – в 2017 г., на ПП 4 и 5 – в 2016 г.

### COMMON PINE NEEDLES FLUCTUATING ASYMMETRY AS INDICATOR OF ENVIRONMENT POLLUTION BY MINING ENTERPRISES

R.A. OSIPENKO – assistant of the ecology,  
environment management and forest protection department\*,  
e-mail: regi\_voronina@mail.ru

A.E. OSIPENKO – assistant of forestry chair\*,  
e-mail: osipenko\_alexey@mail.ru

\* FSBEE HE «Ural State Forest Engineering University»,  
620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirsky tract, 37;  
phone: +7 (343) 261-52-88

**Keywords:** *fluctuating asymmetry, pine needles, undergrowth, common pine, sample plot.*

The paper deals with undergrowth of pine needles parameters studying. The investigations have been carried out on five sample plots located in northeast direction at 200, 300, 450, 650 and 1400 meters from the mining

enterprise «Svyatogor» on the territory of Kushvinsky forest district, Sverdlovsk district. Temporary sample plots have been laid in forest stands with homogenous in composition, completeness, stock by original forest stands with average indicators on diameter and height. For pine undergrowth condition estimation its needles studying has been carried out according the following indicators: length, width, hemisphere side width, the total surface square, needle fluctuating asymmetry index has also been established. The needles were selected in pairs from shoots of recent three years (2015–2017) in number of 10 pieces with 10 young pine trees for each temporary sample plots. On the course of the investigations it has been established that fluctuating index is critical to temporary simple plot 1 (in 2015 and 2017), and to temporary simple plot 2-5 (in 2016). The given indicator for sample plots considered is changed annually, there observed no special tendency to all temporary simple plot, except simple plot 2, minimal fluctuations, and relatively equal values of morph-biologic indicators are observed there. The width of the needles on all plots constitute the range 0,97 (temporary simple plot 5, 2015) – 1,5 mm. (temporary simple plot 3, 2017), the average – 1,1 mm. The largest average indicator of needles surface is observed on simple plot 1 and 2 (2015) on simple plot 3 – in 2017, on simple plot 4 and 5 – in 2016. Anthropogenic impact is rated high of 300-meter distance from the source of pollution, but at the distance 450–1400 – moderate.

### Введение

Одним из наиболее удобных и простых методов оценки влияния деятельности человека на природные объекты является метод биоиндикации, который подразумевает под собой оценку качества окружающей среды по наличию и состоянию определенных видов, наиболее чувствительных к внешним воздействиям [1]. Морфологические особенности строения объекта исследования позволяют оценить не только текущие изменения, происходящие с природной средой, но и прогнозировать дальнейшие. Особенностью биоиндикационных методов является то, что объекты исследования могут реагировать как на единичный загрязняющий компонент, так и на целые комплексы [2].

Хвойные растения являются хорошими природными индикаторами качества окружающей среды, так как обладают аккумулятивной способностью и длительно сохраняют ассимиляционный аппарат. На Урале в качестве наиболее удобного

и универсального тест-объекта целесообразно использовать сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.). Данный вид является наиболее хемотолерантным по сравнению с другими видами [3]. Кроме того, сосна обыкновенная произрастает в различных лесорастительных условиях [4–6] и широко используется при биологической рекультивации нарушенных земель [7–9].

Основная цель данной работы – определить стабильность развития сосны обыкновенной, произрастающей на территории горнодобывающего предприятия, путем анализа морфобиологических показателей хвои сосны обыкновенной.

### Объект, методы и условия исследования

Объектом исследования является сосновый подрост, произрастающий в пределах земельного отвода горнодобывающего предприятия ОАО «Святогор», расположенного на территории Кушвинского лесничества

Свердловской области, в пределах водоохранной зоны реки Лая.

Изучение параметров хвои проводилось на 5 временных пробных площадях, расположенных в северо-восточном направлении на расстоянии 200, 300, 450, 650 и 1400 м от источника загрязнения (рис. 1). ПП закладывались в насаждениях с однородными по составу, полноте, запасу, средним показателям диаметра и высоты древостоями естественного происхождения в соответствии с общепринятыми методиками [10, 11].

Длина хвои измерялась с помощью линейки. Ширина хвои измерялась с помощью микроскопа, оснащенного окуляром-микрометром.

Для изучения морфобиологических показателей подрост сосны обыкновенной хвоя отбиралась попарно за последние 3 года (2015–2017 гг.) в количестве 10 шт. с 10 молодых деревьев сосны на каждой ПП. Далее хвоя измерялась и рассчитывался индекс флукутуирующей



Рис. 1. Схема расположения ПП  
Fig. 1. Scheme of temporary sample plot location

асимметрии (ИФА) по следующей формуле:

$$\text{ИФА} = 2 (WL - WR) / (WL + WR),$$

где WL – длина левой хвоинки в паре, WR – длина правой хвоинки в паре.

Многие авторы предлагают считать определение ИФА одним из морфологических методов оценки состояния и динамики биосистем, а сам показатель ИФА – индексом стабильности развития организма [12–14].

По шкале, разработанной Л.Н. Скрипальщичевой, В.В. Стасовой [15], была установлена стабильность развития сосны обыкновенной под влиянием на нее антропогенного фактора (табл. 1). Каждому баллу, указанному в табл. 1, соответствует определенное значение стабильности развития.

Таблица 1  
Table 1

Шкала оценки влияния антропогенного фактора  
на стабильность развития сосны обыкновенной по ИФА  
Scale assessing the compact of anthropogenic factors  
on stability of common pine development according to fluctuating asymmetry

Величина показателя стабильности развития The value of the indicator of stability of development	Оценка влияния антропогенного фактора Evaluation of the influence of anthropogenic factor	Балл Evaluation score
0,00–0,003	Норма / Norm	1
0,0031–0,004	Слабое / Low	2
0,0041–0,005	Умеренное / Moderate	3
0,0051–0,006	Высокое / High	4
0,0061–0,009	Очень высокое / Very high	5
> 0,0091	Критическое / Critical	6

**Результаты  
и их обсуждение**

Для оценки состояния сосны было проведено изучение хвои по следующим показателям: длина, ширина, ширина полусферической стороны, а также общая площадь поверхности хвоинок.

В табл. 2 приведены средние значения перечисленных показателей хвои сосны.

Наибольшие средние значения длины хвои наблюдаются на пробной площади 2, наименьшая длина хвои – на ПП 1 в 2016 г. На ПП 4 и 5 в 2016 г. средняя

длина хвои увеличилась с 50,1 до 54,5 мм и с 49,3 до 51,5 мм.

На рис. 2–4 представлены результаты расчета ИФА. Левая хвоинка обозначена как WL, правая – WR.

Таблица 2  
Table 2

Средние значения морфобиологических показателей  
хвои подроста сосны обыкновенной  
Average indicator of morph-biological indices  
of common pine undergrowth needles

№ ПП № simple plot	Год Year	Длина, мм Length, mm		Ширина плоской стороны, мм The width of the flat sides, mm		Ширина полусферической стороны, мм Width of the hemispherical side, mm		Общая поверхность, мм <sup>2</sup> Total surface area, mm <sup>2</sup>	
		WL*	WR	WL	WR	WL	WR	WL	WR
1	2015	46,3	62,4	1,11	1,07	80,9	104,5	132,4	171,0
	2016	41,3	41,4	1,09	1,10	70,7	71,5	115,7	117,1
	2017	43,7	45,9	1,12	1,11	77,1	79,8	126,2	130,5
2	2015	58,3	58,5	1,03	0,99	94,3	90,9	154,4	148,7
	2016	53,2	53,7	1,08	1,05	90,4	88,8	148,0	145,3
	2017	50,7	51,0	1,11	1,07	88,1	85,7	144,2	140,2
3	2015	49,4	49,6	1,13	1,14	87,7	88,5	143,6	144,9
	2016	45,3	47,1	1,05	1,05	74,7	77,2	122,2	126,4
	2017	44,4	44,3	1,51	1,50	105,1	104,6	172,0	171,2
4	2015	50,1	50,3	1,17	1,13	91,6	88,8	150,0	145,4
	2016	54,5	52,6	1,19	1,14	101,3	94,1	165,8	154,1
	2017	47,4	47,0	1,12	1,09	83,3	80,6	136,4	132,0
5	2015	49,3	49,4	0,99	0,97	76,9	75,4	125,9	123,5
	2016	51,1	50,1	1,04	0,98	83,6	77,4	136,9	126,7
	2017	47,3	47,4	1,02	1,01	75,4	75,4	123,5	123,4

\* WL – левая хвоинка; WR – правая хвоинка.  
\* WL – left needles; WR – right needles.

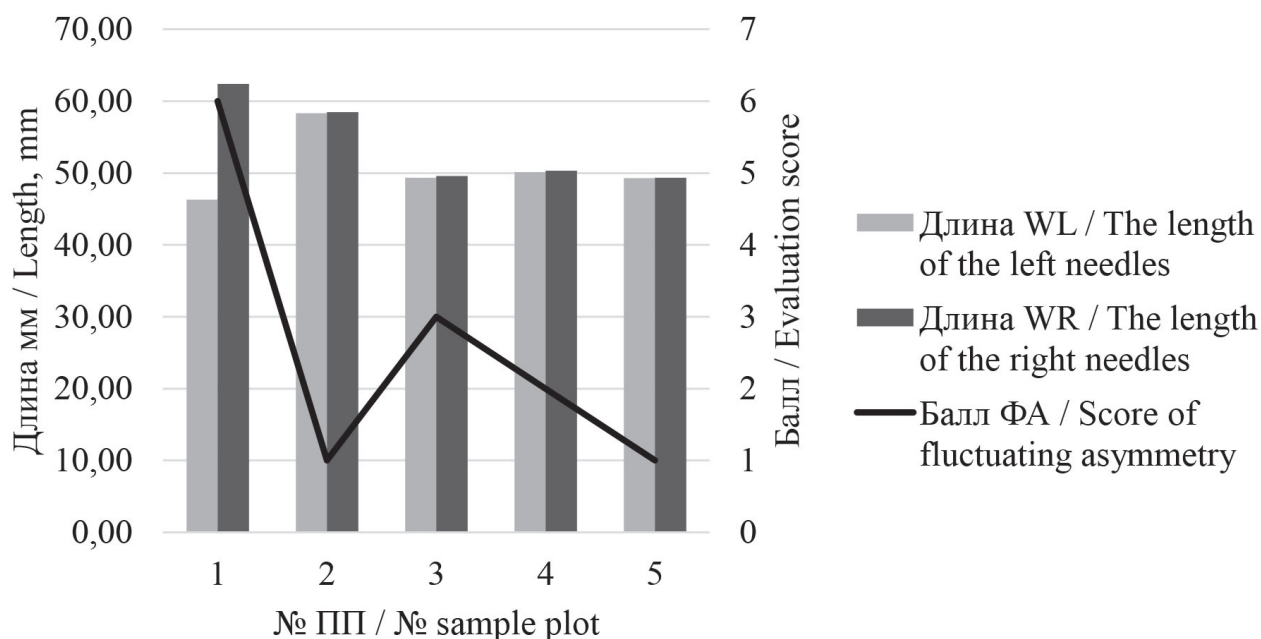


Рис. 2. Балл флуктуирующей асимметрии хвои за 2015 г.  
 Fig. 2. Evaluation score of needle fluctuating asymmetry for 2015

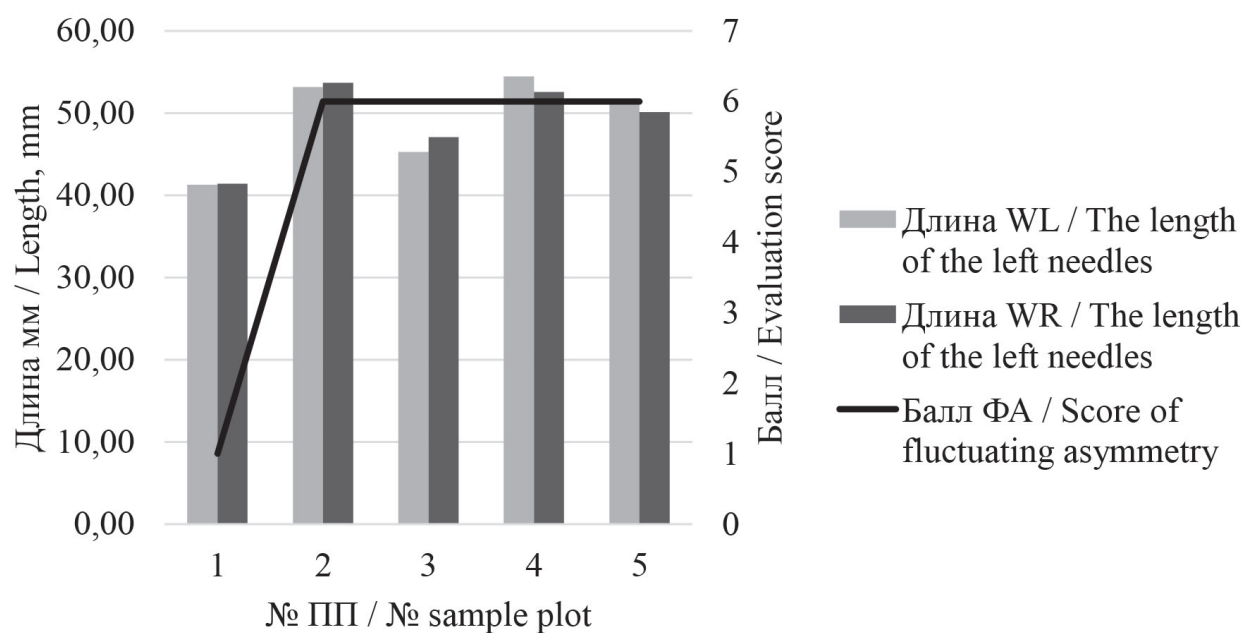


Рис. 3. Балл флуктуирующей асимметрии хвои за 2016 г.  
 Fig. 3. Evaluation score of needle fluctuating asymmetry for 2016

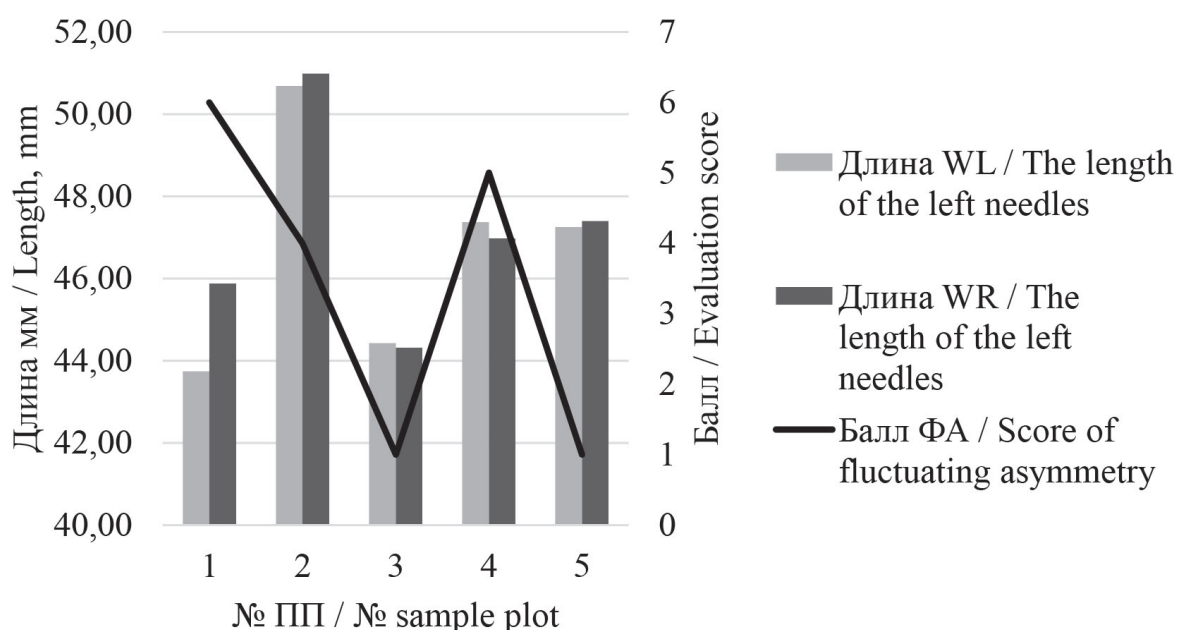


Рис. 4. Балл флуктуирующей асимметрии хвои за 2017 г.  
Fig. 4. Evaluation score of needle fluctuating asymmetry for 2017

Индекс флуктуирующей асимметрии имеет критическое значение на ПП 1 в 2015 и 2017 гг. и на ПП 2–5 в 2016 г. Следует отметить, что ПП 4 также имеет высокое значение показателя ИФА в 2017 г. (табл. 3).

В 2015 г. общая поверхность хвоинок на ПП 2 и 4 имеет относительно одинаковые значения,

разница между которыми не превышает 1 мм<sup>2</sup>. На ПП 1 имеется расхождение между хвоинками, равное 38,6 мм<sup>2</sup>.

В 2016 г. по сравнению с 2015 г. на ПП 4 наблюдается увеличение площади средней хвоинки, но разница между хвоинками составляет 11,7 мм<sup>2</sup>. На ПП 1 происходит сокращение площади хвои и

разница составляет всего 1,4 мм (минимальное отклонение между хвоинками в данном году).

В 2017 г. поверхности левой и правой хвоинок на ПП 3 и 5 имеют одинаковые значения, но при этом по сравнению с 2016 г. в первом случае происходит увеличение значений, а во втором – снижение на 13 мм<sup>2</sup>.

Таблица 3  
Table 3

Стабильность развития подроста сосны обыкновенной в зависимости от расстояния от источника загрязнения  
Stability of Scots pine undergrowth development depending on the distance from the source of pollution

№ ПП № simple plot	Расстояние от источника загрязнения, м Distance from the source of contamination, m	Балл ИФА Score of fluctuating asymmetry				Оценка влияния антропогенного фактора Evaluation of the influence of anthropogenic factor
		В 2015 г. In 2015	В 2016 г. In 2016	В 2017 г. In 2017	Средний Average	
1	200	6	1	6	4,3	Высокое / High
2	300	1	6	4	3,7	Высокое / High
3	450	3	6	1	3,3	Умеренное / Moderate
4	650	2	6	5	4,3	Высокое / High
5	1400	1	6	1	2,7	Умеренное / Moderate

Высокий средний балл ИФА на ПП 4, находящийся на расстоянии 650 м от источника загрязнения, можно объяснить близким расположением к ЛЭП, которая, вероятно, оказывает воздействие на стабильность развития сосны.

#### Выводы

1. Индекс флуктуирующей асимметрии имеет критическое значение на ПП 1 в 2015 и 2017 гг. и на ПП 2–5 в 2016 гг. Данный показатель для рассмотренных ПП изменяется ежегодно, и какая-либо определенная тенденция

практически не прослеживается на всех ПП, кроме ПП 2, на которой наблюдаются минимальные колебания и относительно одинаковые значения морфобиологических показателей.

2. Ширина хвоинок на всех площадях находится в пределах от 0,97 (ПП 5, 2015 г.) до 1,5 мм (ПП 3, 2017 г.) при среднем значении 1,1 мм.

3. Наибольшее среднее значение поверхности хвоинок наблюдается на ПП 1 и 2 в 2015 г., на ПП 3 – в 2017 г., на ПП 4 и 5 – в 2016 г.

4. Полученные данные по отдельным годам не позволяют сделать однозначный вывод о влиянии горнодобывающего предприятия на прилегающий к ней лесной массив. Однако если анализировать средние значения ИФА за 3 года, то можно заключить, что влияние антропогенного фактора оценивается как высокое на расстоянии 300 м от источника загрязнения, а на расстоянии 450–1400 м – умеренное.

5. Для получения более точных результатов необходимо продолжить исследования, а также провести химический анализ хвои.

#### Библиографический список

1. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / пер. с нем. Г.И. Лойдиной, В.А. Турчаниновой; под ред. Д.А. Криволуцкого. М.: Мир, 1988. 350 с.
2. Савватеева О.А., Мокрушина М.Г. Биоиндикация по хвойным породам деревьев в городах // Эколог – профессия будущего: сб. матер. молодежн. науч. семинара. Кемерово, 2014. С. 101–107.
3. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. 370 с.
4. Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1999. 185 с.
5. Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 112 с.
6. Залесов С.В., Луганский Н.А. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 331 с.
7. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, Е.Е. Зверев, А.С. Оплетаев, А.А. Терин // Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. жур. 2013. № 2 (332). С. 66–73.
8. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности / С.В. Залесов, О.В. Толкач, К.А. Фрейберг, Н.Ф. Черноусова // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 42–47.
9. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, Ю.В. Зарипов, А.С. Оплетаев, О.В. Толкач // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 12. С. 63–67.
10. Основы фитомониторинга: учеб. пособие / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.А. Зотева, А.Г. Магасумова. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 89 с.
11. Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 152 с.
12. Использование показателя флуктуирующей асимметрии березы повислой для оценки ее состояния / С.В. Залесов, Б.О. Азбаев, Л.А. Белов, Ж.О. Суяндиков, Е.С. Залесова, А.С. Оплетаев // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14518>

13. Залесов С.В., Зарипов Ю.В., Фролова Е.А. Анализ состояния подроста березы повислой (*Betula pendula* Roth.) на отвалах месторождений хризотил-асбеста по показателю флуктуирующей асимметрии // Вестник Бурят. гос. с.-х. акад. им. В.Р. Филиппова. 2017. № 1 (46). С. 71–77.
14. Кожара А.В. Структура показателя флуктуирующей асимметрии и его пригодность для популяционных исследований // Биологические науки. 1985. № 6. С. 100–103.
15. Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В. Биоиндикационные показатели стабильности развития насаждений в нарушенных ландшафтах // Сиб. лесн. журн. 2014. № 2. С. 62–72.

### *Bibliography*

1. Schubert R. Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems / translated from the German by G.I. Loydinoy, V.A. Turczaninovich; ed. by D.A. Krivoruchko. M.: World, 1988. 350 p.
  2. Savvateeva O.A., Mokrushina M.G. Bioindication on coniferous trees in cities // Ecologist – profession of the future: collection of materials of the youth scientific seminar. Kemerovo, 2014. P. 101–107.
  3. Pavlov I.N. Wood plants in the conditions of technogenic pollution. Ulan-Ude, 2005. 370 p.
  4. Yusupov I.A., Lugansky N.A., Zalesov S.V. State of artificial pine young stands in terms of Agroprombiznes. Yekaterinburg: Ural state forestry academy, 1999. 185 p.
  5. Zalesov S.V., Lobanov A.N., Lugansky N.A. Growth and production of artificial and natural pine forests. Yekaterinburg: USFEU, 2002. 112 p.
  6. Zalesov S.V., Lugansky N.A. Increase of productivity of the new forests of the Urals. Yekaterinburg: Ural state forest engineering university, 2002. 331 p.
  7. The Method of Growing Artificial Pine Stands at the Ash Dumps of the Refinskaya Power Plant / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, E.E. Zverev, A.S. Opletaev, A.A. Therin // News of higher educational institutions. Forest journal. 2013. № 2 (332). P. 66–73.
  8. Experience of creation of forest cultures on Solonchaks of good forest suitability / S.V. Zalesov, O.V. Tolkach, K.A. Freiberg, N.F. Chernousova // Ecology and industry of Russia. 2017. Vol. 21. № 9. P. 42–47.
  9. Reclamation of disturbed lands at the tantalum-beryllium field / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, Yu.V. Zaripov, A.S. Opletaev, O.V. Tolkach // Ecology and industry of Russia. 2018. Vol. 22. № 12. P. 63–67.
  10. The Basics of phytomonitoring: a training manual / N.P. Bunkova, S.V. Zalesov, E.A. Zoteeva, A.G. Magasumova. Yekaterinburg: Ural state forest engineering university, 2011. 89 p.
  11. Dancheva A.V., Zalesov S.V. Ecological monitoring of forest vegetation recreational facilities. Yekaterinburg: Ural state forest engineering university, 2015. 152 p.
  12. Application of bird fluctuating asymmetry index for its condition estimation / S.V. Zalesov, B.O. Abaev, L.A. Belov, J.O. Suyundikov, E.S. Zalesova, A.S. Opletaev // Modern problems of science and education. 2014. № 5. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14518>
  13. Zalesov S.V., Zaripov Yu.V., Frolova E.A. Analysis of the state of undergrowth of birch (*Betula pendula* Roth.) on the dumps of places of chrysotile asbestos in terms of fluctuating asymmetry // Bulletin of the Buryat state agricultural Academy V.R. Filippov. 2017. № 1 (46). P. 71–77.
  14. Kozhara A.V. Structure of fluctuating asymmetry index and its suitability for population studies // Biological Sciences. 1985. № 6. P. 100–103.
  15. Skripnikova L.N., Stasova V.V. Bioindicative indicators of stability of development of plants in disturbed landscapes // Journal of Siberian forest. 2014. № 2. P. 62–72.
- 
-