

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-840

УДК 57.04



Научная статья

ВАРИАТИВНОСТЬ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ *BETULA PENDULA* ROTH В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Т.А. Адамович, А.С. Олькова

В работе определяли взаимосвязь (ФА) листьев березы повислой *Betula pendula* Roth с загрязнением атмосферы, климатическими показателями и характеристиками почвы. Анализировали данные, полученные с 10 участков, расположенных по основным географическим направлениям от г. Ухта (республика Коми, Россия). ФА вычисляли по 5 морфологическим параметрам ($n=100$). В почве определяли рН (водная и солевая вытяжки), содержание органического вещества и подвижных форм металлов. Данные по загрязнению воздушной среды и климатическим параметрам получали из открытых источников. Установлены высокие ФА *B. pendula* на всех участках (0,064-0,076). Было показано, что это не связано географическим положением района произрастания березы. На участках не выявлено превышения нормативов загрязняющих веществ в воздушной среде и почве. Корреляционный анализ показал, что ФА увеличивается в ответ на снижение доли органического вещества в почве и повышение кислотности почвы (r равен -0,49 и -0,42 соответственно). Также увеличение ФА связано с содержанием подвижных форм Рb, Мп, Си (r равен 0,6, 0,36, 0,35 соответственно). Влияния содержания в почве подвижных Zn, Fe, Cd на уровень ФА листьев не выявлено. Таким образом, показано, что почвенные характеристики влияют на асимметрию

растения-биоиндикатора, в том числе в пределах природоохранных нормативов. Этот факт необходимо учитывать при интерпретации результатов оценки экологического состояния территорий.

Ключевые слова: *Betula pendula*; флуктуирующая асимметрия; биоиндикация; почва; тяжелые металлы

Для цитирования. Адамович Т. А., Олькова А. С. Вариативность флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth в зависимости от условий произрастания // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 250-262. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-840

Original article

VARIABILITY OF FLUCTUATING ASYMMETRY OF *BETULA PENDULA* ROTH LEAVES DEPENDING ON GROWING CONDITIONS

T.A. Adamovich, A.S. Olkova

*In the work, the relationship (FA) of the leaves of the hanging birch *Betula pendula* Roth with atmospheric pollution, climatic indicators and soil characteristics was determined. We analyzed data obtained from 10 sites located in the main geographical directions from the city of Ukhta (Komi Republic, Russia). FA was based on 5 morphological parameters (n=100). In the soil, we determined the pH (water and salt extracts), the content of organic matter and mobile forms of metals. Information on air pollution and climate parameters was obtained from open sources. We established high FA of *B. pendula* at all sites (0.064-0.076). It was shown that this is not related to the geographical location of the birch growing area. There was no excess of standards of pollutants in the air and soil at the sites. Correlation analysis showed that FA increases in response to a decrease in the proportion of organic matter in the soil and an increase in soil acidity (r is -0.49 and -0.42, respectively). Also, the increase in FA is associated with the content of mobile forms of Pb, Mn, Cu (r is 0.6, 0.36, 0.35, respectively). We found no effect of the content of mobile Zn, Fe, Cd in the soil on the FA level of the leaves. Thus, it is shown that soil characteristics affect the asymmetry of the bioindicator plant, including within environmental regulations. This fact should be taken into account when interpreting the results of the assessment of the ecological state of the territories.*

Keywords: *Betula pendula*; fluctuating asymmetry; bioindication; soil; heavy metals

For citation. Adamovich T.A., Olkova A.S. Variability of Fluctuating Asymmetry of *Betula pendula* Roth Leaves Depending on Growing Conditions. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 250-262. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-840

Введение

Качество окружающей среды и его оценка продолжают оставаться актуальными темами экологических и междисциплинарных исследований. Многочисленные методы биоиндикации состояния окружающей среды основаны на морфометрических изменениях в ответ на негативные воздействия различного происхождения. Флуктуирующая асимметрия (ФА) органов растений, а также животных эффективно применяется в оценке состояния окружающей среды [7].

Использование животных для обнаружения их морфологической асимметрии ограничивается этикой экологических исследований. Для этих целей чаще всего применяются только массовые виды. Так, в работе [20] установлено, что в ответ на антропогенное загрязнение 10 морфологических признаков лягушек *Pelophylax ridibundus* становятся асимметричными. Данные признаки могут быть применяться в качестве надежных биоиндикаторных признаков действия неблагоприятных факторов.

Растения являются более удобными для биоиндикации, чем животные, не только с этической точки зрения. С помощью растений можно проводить биоиндикацию всех природных сред. Растения ведут оседлый образ жизни, поэтому воспринимают антропогенное воздействие на строго ограниченной территории за период, равный их жизненному циклу. Для оценки показателей флуктуирующей асимметрии используется часть растения, которая остается жизнеспособной после отбора биологических проб. При этом, данные растения можно использовать в следующем году, увеличивая тем самым достоверность проводимых научных исследований.

В большинстве случаев отклонение от условной нормы асимметрии органов растения учёные связывают с загрязнением воздушной среды. Например, у растений *Cecropia pachystachya* Trécul наиболее высокие значения ФА наблюдали на участках с сильным пылевым загрязнением, наименьшие – у растений на контрольном участке [12]. В других работах отмечают статистически значимую зависимость ФА *Betula pendula* Roth и *Aser pseudoplatanus* L. от транспортной нагрузки в крупных городах [16, 17].

Однако, не достаточно раскрытой остаётся проблема изучения зависимости ФА растений от показателей почвы и уровня её загрязнения. В связи с этим, целью данного исследования является определение взаимосвязи асимметрии листьев березы *B. pendula* от некоторых показателей почвы (уровень pH, содержание органического вещества, концентрация подвижных форм металлов).

Материалы и методы исследования **Территория и участки исследования**

Исследование проводилось в городской агломерации г. Ухта (Россия), широта 63°34'01" с.ш., долгота 53°41'00" в.д. Климат относится к умеренно континентальному. Зима продолжительная, холодная: средняя температура января -18°C. Лето короткое, прохладное: средняя температура июля +14,6°C.

По разным направлениям света от условного центра района исследования были заложены 10 участков, на которых произрастала береза *Betula pendula* Roth.

Биоиндикация

На каждом участке исследования были выбраны 10 деревьев *B. pendula*. С каждого дерева мы собрали по 10 листьев, у которых определяли коэффициент флуктуирующей асимметрии (ФА) по 5 параметрам [14, 1]. Далее экологическое состояние на участках ранжировали согласно шкале А.Б. Стрельцова [2]: ФА < 0,055 – среда чистая; ФА 0,056–0,6 – среда относительно чистая; ФА 0,06–0,065 – среда загрязненная; ФА 0,065–0,07 – среда грязная; ФА > 0,070 – среда очень грязная.

Химические анализы почвы

На каждом участке исследования были отобраны пробы почвы с глубины 0–20 см и проанализированы. Определение pH водной вытяжек из почвы проводили потенциометрическим методом, содержание органического вещества анализировали спектрофотометрическим методом. Определение содержания подвижной формы тяжелых металлов в пробах почвы проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии [3].

Обработка результатов

Лабораторные анализы проводили в трехкратной повторности. В ходе статистической обработки полученных данных определяли средние значения (M) и стандартное отклонение (δ). Результаты на рисунках отражали в виде $M \pm \delta$. Достоверность различий между сравниваемыми рядами данных оценивали по критерию Стьюдента, $p < 0,05$.

Результаты исследования

ФА листьев березы

Коэффициенты ФА на исследуемых участках варьировали от 0,064 до 0,076. Согласно шкале [2] большинство участков характеризуются загрязнённой окружающей средой, 30% участков относятся к очень грязным (Рис. 1).

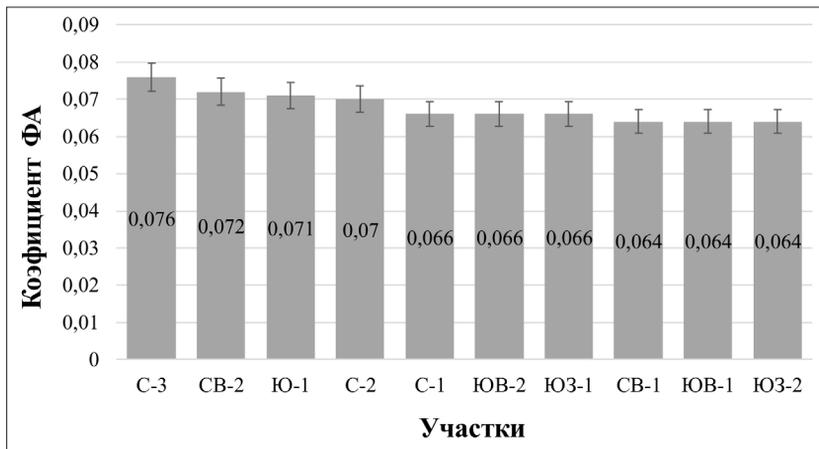


Рис. 1. Коэффициенты флуктуирующей асимметрии листьев *B. pendula* на участках исследования

По данным рисунка 1 можно сделать вывод о том, что максимальные коэффициенты асимметрии установлены как для северных, так и для южных участков.

Характеристика почвы на участках исследования

Древесные растения сильно зависят от почвенных условий, в том числе от её загрязнения. В таблице 1 обобщены результаты изучения почвы на участках исследования ФА березы.

Реакция почвенной среды на большинстве участков является слабокислой (60% проб по анализу водной вытяжки и 80% проб по анализу солевой вытяжки). Почвы не богаты органическим веществом: 70% исследованных участков относятся к бедным органическим веществом по шкале [4]. Анализ содержания подвижных форм ТМ в почвах показал, что на всех участках исследования их концентрация значительно ниже установленных нормативов [13]. Максимальные концентрации отмечены для железа, марганца и цинка, что типично для северных почв [13].

Таблица 1.

Физико-химические и химические характеристики почвы

Участок отбора проб	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Органическое вещество, %	Содержание ТМ, мг/кг					
				Cd	Pb	Fe	Zn	Cu	Mn
С-1	6,8	6,3	0,26	0,001	0,55	0,72	0,59	0,28	1,63
С-2	6,7	5,0	0,26	0,007	0,74	3,0	0,22	0,01	0,87
С-3	6,8	6,0	0,22	0,009	0,27	1,56	0,24	0,17	1,25
СВ-1	6,9	5,8	0,27	0,53	0,05	0,59	0,32	0,16	1,46
СВ-2	6,8	6,0	0,22	нпо	0,22	0,98	0,35	0,18	1,52
ЮВ-1	5,5	5,5	0,37	0,022	0,52	0,81	0,43	0,30	1,57
ЮВ-2	5,1	5,1	0,34	0,007	2,68	0,73	0,34	0,27	1,73
Ю	6,0	6,0	0,38	0,062	0,55	0,68	0,61	0,25	1,66
ЮЗ-1	5,7	5,7	0,50	0,067	0,22	1,10	0,37	0,21	1,64
ЮЗ-2	5,6	5,6	0,45	0,005	0,27	1,23	0,29	0,14	1,32

Примечание: НПО – ниже предела обнаружения; отклонения от среднего при измерении pH составляли не более 5% (n=3), при определении концентрации органического вещества составляли не более 2% (n=2), при определении ТМ не более 20%.

Корреляционная зависимость ФА листьев березы и характеристик почвы. Результаты определения зависимости ФА березы от различных показателей почвы показаны на рисунке 2.

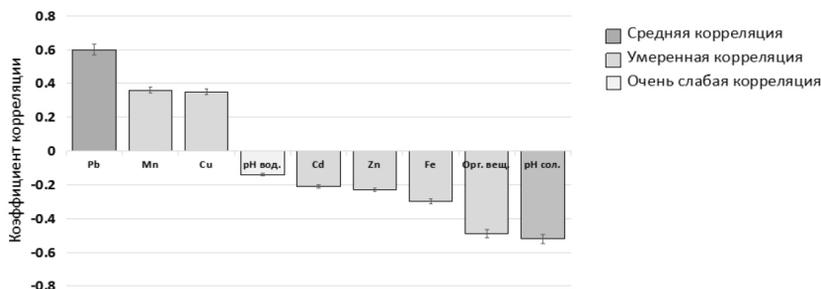


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между ФА листьев березы и почвенными характеристиками

Максимальная положительная связь асимметрии листьев березы наблюдалась с содержанием подвижного свинца в почве ($r=0,6$). Наличие этого металла в почве обусловлено в большей степени антропогенной деятельностью [11, например, в нашем случае добычей угля и нефти в окрестностях г. Ухта, а также транспортной нагрузкой.

Положительные связи умеренной степени наблюдались между ФА и содержанием подвижного марганца ($r=0,36$), ФА и содержанием подвиж-

ной меди ($r=0,35$). Медь, марганец и цинк могут усиливать действие друг друга [15], поэтому относительно низкое содержание этих металлов в почве влияет на состояние *B. pendula*.

Умеренная отрицательная связь наблюдалась между ФА и рН почвы по солевой вытяжке ($r=-0,52$), а также ФА и содержанием органического вещества в почве ($r=-0,49$). Это вполне закономерно. Чем ниже уровень рН почвы и меньше органического вещества, тем экстремальнее почвенные условия для растения. Другие показатели почвы (рН водной почвенной вытяжки, содержание подвижных кадмия, цинка и железа) имели слабую корреляционную связь с ФА листьев березы. В случае водной вытяжки, это связано с более объективным отражением уровня рН в почве при использовании солевой вытяжки, поскольку в естественной почве в раствор переходят природные соли. В случае тяжелых металлов, вероятно, их обнаруженные концентрации, действительно не влияли на состояние *B. pendula*.

Обсуждение результатов

Асимметрия листьев *B. pendula* в окрестностях г. Ухта была высокой: ФА от 0,064 до 0,076. Известно, что в относительно чистых регионах, также отличающихся низкими среднегодовыми температурами, асимметрия листьев березы гораздо ниже. Так, в Западной Якутии на фоновых территориях учёные установили ФА березы в среднем равную 0,04 [18]. С другой стороны, известно, что берёза реагирует на загрязнение окружающей среды. Вблизи фармацевтического предприятия ФА березы достигала 0,053 [19]. В промышленных зонах городов ФА березы может достигать 0,061–0,667 [9].

Следовательно, высокие уровни ФА листьев *B. pendula* могли быть связаны с экстремальными климатическим факторами, загрязнением воздушной среды, загрязнением почвы. Мы проанализировали эти гипотезы согласно полученным экспериментальным данным.

Природно-климатические условия г. Ухта не являются оптимальными для произрастания *B. pendula*, при этом данное древесное растение успешно произрастает вплоть до зоны тундры. Различий между ФА листьев березы, произрастающей на северных участках по сравнению с южными, в пределах территории исследования, установлено не было. Литературные данные подтверждают, что климатические факторы не оказывают существенного влияния на устойчивость развития *B. pendula* в городских условиях [17].

Антропогенное загрязнение территории исследования связано с тем, что в Ухте есть действующие шахты по добыче угля и нефти. Это могло сказаться на состоянии как атмосфера, так и почвы.

Уровень загрязнения атмосферы в г. Ухта в 2022 г. был низким. Средние годовые концентрации всех загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города были ниже санитарных норм. Случаев высокого и экстремально высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха не отмечалось [6]. Поэтому мы обратили внимание на характеристики почвы.

Сверхнормативного загрязнения почвы металлами (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn, Fe) обнаружено не было. Почва характеризовалась кислой и слабокислой реакцией среды, была бедна по содержанию органического вещества. *B. pendula* относится к неприхотливым древесным культурам, однако сочетание кислой почвы и низкого содержания органического вещества могло привести к повышению биодоступности ТМ [8]. Также известно негативное действие ТМ в низких концентрациях при их сочетании [10]. Эти предположения подтвердились при корреляционном анализе. Асимметрия листьев березы была положительно связана с содержанием свинца, марганца и меди и отрицательно связана с уровнем рН и содержанием органического вещества.

Таким образом, из трех выдвинутых гипотез о причинах высокой асимметрии листьев *B. pendula* в окрестностях г. Ухта, наиболее доказательной является влияние характеристик почвы на состояние березы.

Заключение

Береза *B. pendula*, безусловно, является ценным биоиндикатором, поскольку она часто используется для городского озеленения Европы, Азии, Северной и Южной Америки, в северных частях Африки. На примере северо-таежной зоны показано, что асимметрия листьев *B. pendula* зависит не только от воздушной среды, но и от характеристик почвы. С понижением содержания органического вещества в почве и снижением уровня рН асимметрия листьев увеличивается.

Загрязнения почвы тяжелыми металлами на участках исследования выявлено не было. Однако влияние определяемых металлов (подвижные формы) на ФА распределилось на две группы. Увеличение содержания трех металлов приводило к повышению уровня ФА: $Pb > Mn = Cu$. Металлы Cd, Zn, Fe не влияли на показатель ФА ($r < 0,35$).

Климатические условия в пределах северо-таежной зоны не влияли на асимметрию листьев *B. pendula*.

Высокие показатели ФА в окрестностях г. Ухта (0,064-0,076) могут свидетельствовать как о совместном действии ТМ, так и о влиянии тех загрязняющих веществ, которые не были определены в ходе наших работ. Показано увеличение ФА листьев березы в ответ на снижение уровня рН

почвы и низкое содержание органического вещества. Увеличение базы данных о взаимосвязи асимметрии листьев *B. pendula* с показателями почвы и её загрязнением составляют перспективу данного исследования.

Список литературы

1. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Распоряжение МПР № 460-р от 16.10.2003. М.: МПР, 2003. 24 с.
2. Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга: Изд-во Калужского ЦНТИ, 2003. 431 с.
3. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
4. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. Москва: Наука, 1965. 320 с.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
6. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2022 году». Сыктывкар: Минприроды Республики Коми, 2023. 164 с.
7. Barišić Klisarić N., Miljković D., Avramov S., Živković U., Tarasjev A. Radial and bilateral fluctuating asymmetry of *Iris pumila* flowers as indicators of environmental stress // *Symmetry*. 2019. № 11(6). P. 818. <https://doi.org/10.3390/sym11060818>
8. Dalcorso G., Fasani E., Manara A., Visioli G., Furini A. Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation // *International journal of molecular sciences*. 2019. Vol. 20(14), 3412. <https://doi.org/10.3390/ijms20143412>
9. Gubasheva B. E., Idrissova G. Z., Tumenov A. N. Rudn journal of ecology and life safety // *RUDN journal of ecology and life safety*. 2022. Vol. 30(3). P. 417-427. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-417-427>
10. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plant. 4th Edition, CRC Press, Boca Raton. 2010. 548 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>
11. Karande U. B., Kadam A., Umrikar B. N., Wagh V., Sankhua R. N., & Pawar N. J. Environmental modelling of soil quality, heavy-metal enrichment and human health risk in sub-urbanized semiarid watershed of western India // *Modeling Earth Systems and Environment*. 2020. № 6. P. 545-556.
12. Mendes G., Boaventura M. G., Cornelissen T. (2018). Fluctuating asymmetry as a bioindicator of environmental stress caused by pollution in a pioneer plant species // *Environmental entomology*. 2018. Vol. 47(6). P. 1479-1484. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy147>

13. Opekunova M. G., Opekunov A. Y., Kukushkin S. Y., & Ganul A. G. Background contents of heavy metals in soils and bottom sediments in the north of Western Siberia // *Eurasian Soil Science*. 2019. № 52. P. 380-395.
14. Palmer A. R. Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In: Markow T.A. Ed., *Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994. P. 335-364. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0830-0_26
15. Piper C. S. *Soil and plant analysis*. Scientific Publishers, 2019.
16. Prihod'ko S. A., Shtirc Y. A. Primenenie morfogeometricheskogo metoda dlya opredeleniya pokazatelej fluktuiruyushchej asimmetrii listovoj plastinki Aser pseudoplatanus L. (Application of the morphometric method for determining the indicators of fluctuating asymmetry leaf plate Acer pseudoplatanus L.) // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8. P. 194-210. https://doi.org/10.15421/2018_204
17. Shadrina E., Turmukhametova N., Soldatova V., Vol'pert Y., Korotchenko I., & Pervyshina G. Fluctuating asymmetry in morphological characteristics of *Betula pendula* Roth leaf under conditions of urban ecosystems: evaluation of the multi-factor negative impact // *Symmetry*. 2020. Vol. 12(8), 1317. <https://doi.org/10.3390/sym12081317>
18. Shadrina E. G., Vol'pert Y. L. Bioindication Assessment of Environmental Quality in Vicinity of Underground Nuclear Explosion Sites on the Territory of the West Yakutia Using the Level of Fluctuating Asymmetry in Plants and Animals // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2018. Vol. 10(6S). P. 2950-2961. <https://doi.org/10.4314/jfas.v10i6s.223>
19. Turmukhametova N. V., Shadrina E. G., Soldatova V. Y., & Ivantsova E. N. Fluctuating asymmetry of the lamina of *Betula pendula* Roth in the context of different cities and industrial load // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 839(5), 052011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052011>
20. Zhelev Z. M., Tsonev S. V., Angelov M. V. Fluctuating asymmetry in *Pelophylax ridibundus* meristic morphological traits and their importance in assessing environmental health // *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 107, 105589. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105589>

References

1. *Metodicheskiye rekomendatsii po vypolneniyu otsenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivyykh sushchestv (otsenka stabil'nosti razvitiya zhivyykh organizmov po urovnyu asimmetrii morfologicheskikh struktur)* [Methodological rec-

- ommendations for assessing the quality of the environment based on the state of living beings (assessing the stability of the development of living organisms based on the level of asymmetry of morphological structures)]. Order of the Ministry of Natural Resources № 460-r, 16.10.2003. M.: MNR, 2003, 24 p.
2. Streltsov A. B. *Regional'naya sistema biologicheskogo monitoringa* [Regional biological monitoring system]. Kaluga: Publishing house of the Kaluga CSTI, 2003, 431 p.
 3. *Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produkcii rasteniyevodstva* [Guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop products]. M.: CIAS, 1992, 61 p.
 4. Tyurin I. V. *Organicheskoye veshchestvo pochvy i yego rol' v plodorodii* [Soil organic matter and its role in fertility]. Moscow: Science, 1965, 320 p.
 5. *Predelno dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy* [Maximum permissible concentrations (MAC) of chemicals in soil: Hygienic standards]. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006, 15 p.
 6. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Komi v 2022 godu»* [State report "On the state of the environment of the Komi Republic in 2022"]. Syktyvkar: Ministry of Natural Resources of the Komi Republic, 2023, 164 p.
 7. Barišić Klisarić N., Miljković D., Avramov S., Živković U., Tarasjev A. Radial and bilateral fluctuating asymmetry of *Iris pumila* flowers as indicators of environmental stress. *Symmetry*, 2019, vol. 11(6), 818. <https://doi.org/10.3390/sym11060818>
 8. DalCorso G., Fasani E., Manara A., Visioli G., & Furini A. Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation. *International journal of molecular sciences*, 2019, vol. 20(14), 3412. <https://doi.org/10.3390/ijms20143412>
 9. Gubasheva B. E., Idrissova G. Z., Tumenov A. N. *RUDN journal of ecology and life safety*. *RUDN journal of ecology and life safety*, 2022, vol. 30(3), pp. 417–427. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-417-427>
 10. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plant*. 4th Edition, CRC Press, Boca Raton. 2010, 548 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>
 11. Karande U. B., Kadam A., Umrikar B. N., Wagh V., Sankhua R. N., & Pawar N. J. Environmental modelling of soil quality, heavy-metal enrichment and human health risk in sub-urbanized semiarid watershed of western India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2020, no. 6, pp. 545-556.
 12. Mendes G., Boaventura M. G., Cornelissen T. (2018). Fluctuating asymmetry as a bioindicator of environmental stress caused by pollution in a pioneer plant

- species. *Environmental entomology*, 2018, vol. 47(6), pp. 1479-1484. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy147>
13. Opekunova M. G., Opekunov A. Y., Kukushkin S. Y., & Ganul A. G. Background contents of heavy metals in soils and bottom sediments in the north of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, 2019, no. 52, pp. 380-395.
 14. Palmer A. R. Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In: Markow T.A. Ed., *Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994, pp. 335-364. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0830-0_26
 15. Piper C. S. Soil and plant analysis. Scientific Publishers, 2019.
 16. Prihod'ko S. A., Shtirc Y. A. Primenenie morfogeometricheskogo metoda dlya opredeleniya pokazatelej fluktuiruyushchej asimmetrii listovoj plastinki Aser pseudoplatanus L. [Application of the morphometric method for determining the indicators of fluctuating asymmetry leaf plate *Acer pseudoplatanus* L.]. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018, no. 8, pp. 194-210. https://doi.org/10.15421/2018_204
 17. Shadrina E., Turmukhametova N., Soldatova V., Vol'pert Y., Korotchenko I., & Pervyshina G. Fluctuating asymmetry in morphological characteristics of *Betula pendula* Roth leaf under conditions of urban ecosystems: evaluation of the multi-factor negative impact. *Symmetry*, 2020, vol. 12(8), 1317. <https://doi.org/10.3390/sym12081317>
 18. Shadrina E. G., Vol'pert Y. L. Bioindication Assessment of Environmental Quality in Vicinity of Underground Nuclear Explosion Sites on the Territory of the West Yakutia Using the Level of Fluctuating Asymmetry in Plants and Animals. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 2018, vol. 10(6S), pp. 2950-2961. <https://doi.org/10.4314/jfas.v10i6s.223>
 19. Turmukhametova N. V., Shadrina E. G., Soldatova V. Y., & Ivantsova E. N. Fluctuating asymmetry of the lamina of *Betula pendula* Roth in the context of different cities and industrial load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 839(5), 052011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052011>
 20. Zhelev Z. M., Tsonev S. V., Angelov M. V. Fluctuating asymmetry in *Pelophylax ridibundus* meristic morphological traits and their importance in assessing environmental health. *Ecological Indicators*, 2019, vol. 107, 105589. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105589>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Адамович Татьяна Анатольевна, канд. геогр. наук, доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
usr08612@vyatsu.ru*

Олькова Анна Сергеевна, докт. биол. наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические технологии и системы»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
usr08617@vyatsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana A. Adamovich, Candidate of Geographical Sciences, Docent, Docent of the Department of Fundamental Chemistry and Methods of Teaching Chemistry
Vyatka State University

36, Moskovskaya Str., 610000, Kirov, Russian Federation

usr08617@vyatsu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-927X>

ResearcherID: N-3967-2016

Scopus Author ID: 57195528912

Anna S. Olkova, Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Senior Research Fellow, Competence Center “Environmental Technologies and Systems”
Vyatka State University

36, Moskovskaya Str., 610000, Kirov, Russian Federation

usr08617@vyatsu.ru

SPIN-code: 4874-9240

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>

ResearcherID: A-4963-2017

Scopus Author ID: 57195523346

Поступила 05.10.2023

После рецензирования 10.11.2023

Принята 01.12.2023

Received 05.10.2023

Revised 10.11.2023

Accepted 01.12.2023