 © Авторы статьи / Authors of the article

ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.83 EDN: LZJTHN

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ООПТ «СОСНОВАЯ РОЩА» ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ

Научная статья

Турмухаметова Н.В.[1, *], Окач Д.С.[2], Турмухаметов Д.Б.[3]
[1] ORCID : 0000-0001-6078-6998;
[2] ORCID : 0009-0009-1003-2261;
[3] ORCID : 0009-0006-2708-0946;
[1, 2, 3] Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bonid[at]mail.ru)

Предложена: 07.09.2026; Принята: 22.10.2026; Опубликована: 17.11.2026

Аннотация

В статье представлены результаты биомониторинговой оценки состояния особо охраняемой природной территории «Сосновая роща» г. Йошкар-Олы с использованием показателя флуктуирующей асимметрии двух модельных объектов — листовой пластинки *Betula pendula* Roth и рисунка надкрылий *Kleidocerys resedae* Panz. Исследования проведены в 2021 и 2026 гг. на четырех биотопах лесопарка, различающихся удаленностью от автомобильной дороги, а также на референтном участке с умеренным антропогенным загрязнением. Установлено, что интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листьев *B. pendula* на большинстве участков ООПТ соответствует условной норме, лишь в одном биотопе выявлены незначительные нарушения. Анализ фенетической структуры и частоты асимметрии рисунка надкрылий *K. resedae* выявил 11 признаков из 15 известных и 12 новых фенотипических вариантов. Наибольшее число асимметричных особей *K. resedae* зафиксировано в зоне умеренного загрязнения среды городского парка, наименьшее — на участке ООПТ. В целом качество среды в «Сосновой роще» через 4 года после прокладки дороги оценивается как благоприятное в границах условной нормы, что подтверждает устойчивость лесопарковой экосистемы к локальному антропогенному воздействию.

Ключевые слова: охраняемая территория, флуктуирующая асимметрия, Kleidocerys resedae, Betula pendula, антропогенное загрязнение.

BIOINDICATOR ASSESSMENT OF THE STATE OF THE ‘SOSNOVAYA ROSCHA’ SPECIAL PROTECTED NATURAL AREA BASED ON FLUCTUATING ASYMMETRY INDICATORS

Research article

Turmukhametova N.V.[1, *], Okach D.S.[2], Turmukhametov D.B.[3]
[1] ORCID : 0000-0001-6078-6998;
[2] ORCID : 0009-0009-1003-2261;
[3] ORCID : 0009-0006-2708-0946;
[1, 2, 3] Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation

* Corresponding author (bonid[at]mail.ru)

Suggested: 07.09.2026; Accepted: 22.10.2026; Published: 17.11.2026

Abstract

The article presents the results of a biomonitoring assessment of the state of the ‘Sosnovaya Roscha’ Special Protected Natural Area in Yoshkar-Ola, using the fluctuating asymmetry index of two model organisms: the leaf blade of *Betula pendula* Roth and the wing pattern of *Kleidocerys resedae* Panz. The studies were carried out in 2021 and 2026 across four biotopes within the forest park, differing in their distance from the motorway, as well as at a reference site with moderate anthropogenic pollution. It was found that the integral index of fluctuating asymmetry in *B. pendula* leaves at most sites within the protected area corresponded to the conventional norm; only in one biotope were minor deviations detected. Analysis of the phenotypic structure and frequency of asymmetry in the wing markings of *K. resedae* detected 11 of the 15 known traits and 12 new phenotypic variants. The highest number of asymmetrical *K. resedae* individuals was recorded in the moderately polluted area of the city park, and the lowest in the protected area. Overall, the environmental quality in ‘Sosnovaya Roscha’ four years after the road was built is assessed as favourable, falling within the limits of the conditional norm, which confirms the resilience of the forest-park ecosystem to local anthropogenic impact.

Keywords: protected area, fluctuating asymmetry, Kleidocerys resedae, Betula pendula, anthropogenic pollution.

Введение

Оценка качества окружающей среды на особо охраняемых природных территориях требует методов, сочетающих высокую информативность с простотой полевого применения. Этим требованиям отвечает методика анализа флуктуирующей асимметрии (ФА) — случайных, ненаправленных отклонений от строгой симметрии парных морфологических признаков. Степень выраженности ФА прямо пропорциональна интенсивности негативного

 © Авторы статьи / Authors of the article

воздействия, что позволяет использовать данный показатель в качестве количественного маркера экологического неблагополучия [1], [2], [3].

В условиях нарастающего техногенного прессинга главной задачей становится выделение видов-индикаторов, способных в сжатые сроки сигнализировать о критических сдвигах в биоценозах. Многочисленными исследованиями показана эффективность использования флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth) как показателя здоровья среды [4], [5], [6].

Особую ценность биоиндикационные подходы приобретают при работе с насекомыми, которые чутко реагируют на изменение химического состава сред. Благодаря высокой плотности популяций, коротким жизненным циклам и активному метаболизму насекомые служат надежными регистрирующими индикаторами средовых изменений. Среди них выделяются Hemiptera их повсеместная встречаемость, широкое распространение и заметный полиморфизм обеспечивают удобство фенотипического анализа [7], [8]. Березовый сережковый клоп (*Kleidocerys resedae* Panz.) — это массовый голарктический вид, широко распространенный на территории России, чья жизнедеятельность тесно связана с *Betula* L. [9]. Такая специализация делает его потенциально чувствительным к нарушениям в лесных биоценозах и оправдывает его использование в качестве биоиндикатора.

Стресс, будучи двигателем эволюционных процессов, в современную эпоху часто действует как лимитирующий, а не стимулирующий фактор. Быстрое изменение климата и трансформация ландшафтов испытывают адаптационные механизмы видов на прочность. В этой связи анализ флуктуирующей асимметрии рассматривается не просто как диагностическая процедура, а как инструмент прогноза устойчивости популяций. Сохранение биоразнообразия напрямую зависит от нашей способности количественно оценивать гомеостаз природных систем на ранних этапах его нарушения [1].

Цель исследования — проведение биоиндикационной оценки качества среды обитания ООПТ «Сосновая роща» в зоне влияния автотранспортной магистрали по показателям флуктуирующей асимметрии *B. pendula* и *K. resedae*.

Методы и принципы исследования

Исследование проводили на особо охраняемой природной территории г. Йошкар-Олы «Сосновая роща». В 2022 г. через территорию лесопарка проложили автомобильную дорогу. Наш интерес связан с изучением влияния загрязнения среды на состояния биоты лесопарка в рамках выполнения проекта «Мониторинг биоразнообразия ООПТ «Сосновая роща» для сохранения уголка дикой природы в условиях городской экосистемы», поддержанного Президентским фондом природы. Материал был собран в июле–августе 2026 г. в нескольких биотопах смешанного хвойно-широколиственного леса «Сосновой рощи». Биотопы № 1 и 2 находятся на расстоянии 100 м по разные стороны от автодороги, биотопы 3 и 4 — на удалении 500 м. Листья *B. pendula* собирали со средневозрастных деревьев в биотопах 1-–4, особи *K. resedae* — были обнаружены и собраны только в биотопах 3 и 4. Для сравнения с более выраженной антропогенной нагрузкой материал также был собран в Центральном парке культуры и отдыха им. 30-летия ВЛКСМ (экотоп № 5), который находится в 2 километрах от ООПТ «Сосновая роща» и относится к зоне умеренного загрязнения среды промышленно-транспортными выбросами [4], [8], [10].

Сбор листьев *B. pendula* выполнялся по методике, предложенной В.М. Захаровым с соавторами [11], согласно которой для характеристики одной точки необходимо 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). Величину ФА каждого листа определяли по пяти признакам строения и жилкования листовой пластинки (рис. 1). Измерения проводили с точностью: линейные — до 0,1 мм, угловые — до 0,1° в программах ImageJ. Интегральный показатель ФА (IFA) листа вычисляли как среднее по совокупности пяти признаков. Для каждого пункта исследований вычисляли средний показатель IFA.

 © Авторы статьи / Authors of the article

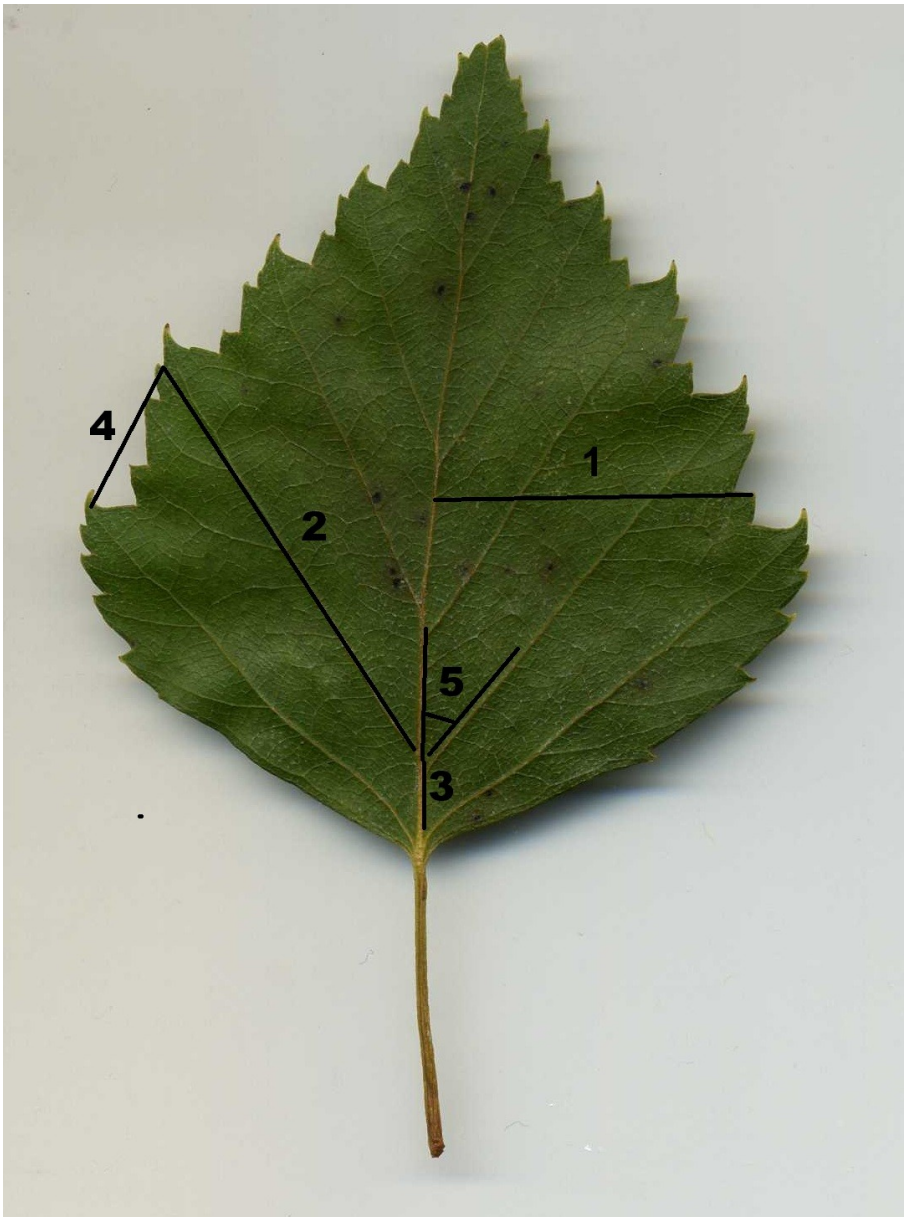


Рисунок 1 - Промеры признаков листовой пластинки *B. pendula*, используемые для оценки ФА:
1 – ширина половинки листа (измерение проводили посередине листовой пластинки); *2* – длина второй от основания листа жилки второго порядка; *3* – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; *4* – расстояние между концами этих жилок; *5* – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.83.1

Примечание: из личного архива авторов

Сбор насекомых проводили в ясную, безветренную погоду методом кошения стандартным энтомологическим сачком с ветвей деревьев *B. pendula*. Для последующего анализа отбирали только половозрелых особей в количестве не менее 100 особей с одного биотопа. Фенотипический анализ структуры меланизированного рисунка надкрылий фиксированных особей *K. resedae* проводили визуально под бинокуляром при 20–30 кратном увеличении. Оценку фенотипических признаков осуществляли по методике, изложенной в работе Б.В. Логвиновского [12] и в нашем исследовании (рис. 2) [13]. Определяли индекс частоты асимметрии (ЧА) элементов меланизированного рисунка покрова *K. resedae* по аналогии с другим видом клопа [14].

 © Авторы статьи / Authors of the article

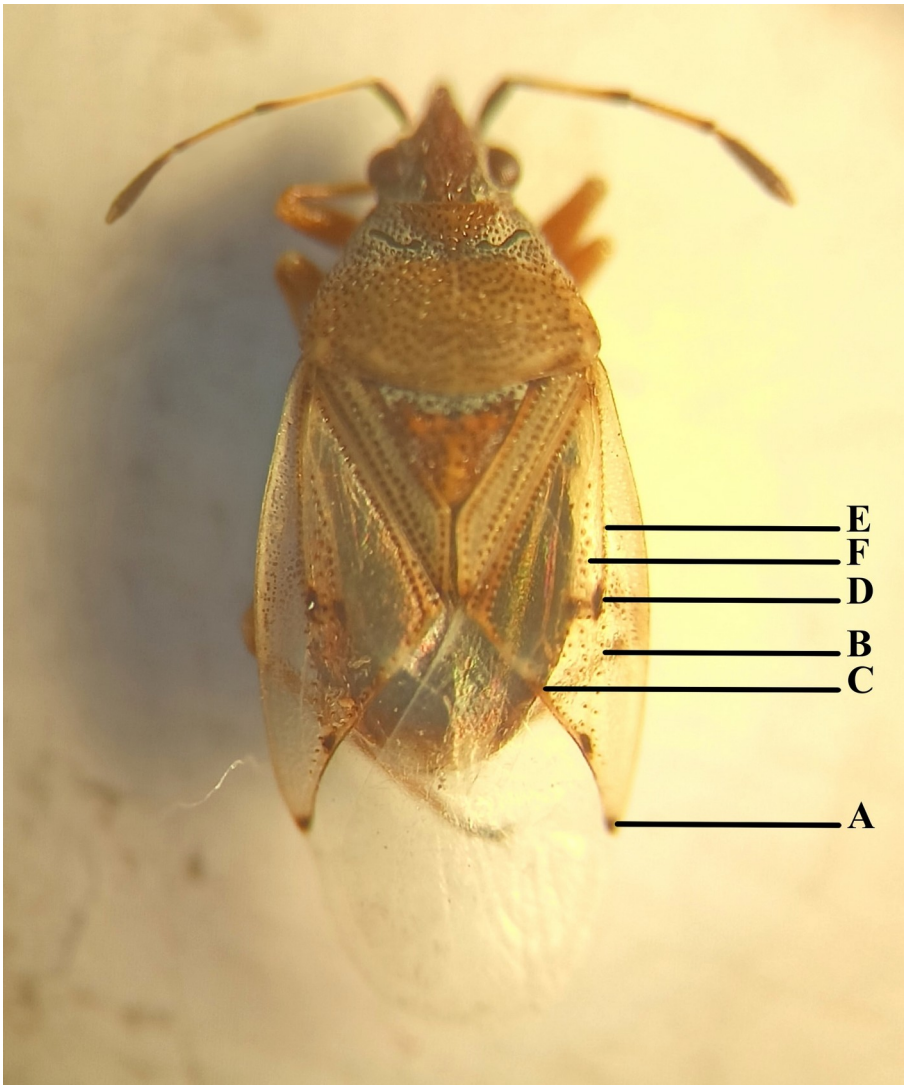


Рисунок 2 - Признаки элементов рисунка надкрылий *Kleidocerys resedae:*
A – форма пятна на вершине кориума; *B* – количество рядов точек пунктировки за пятнами в центре кориума; *C* – форма и наличие пятна на границе кориума с перепонкой, *D* – наличие, количество и взаимное расположение пятен меланина в центре кориума; *E* – количество рядов точек пунктировки перед пятнами в центре кориума; *F* – количества рядов точек пунктировки, расположенных более латерально на надкрыльях, перед пятнами в центре кориума
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.83.2

Примечание: из личного архива авторов

В биотопах 1–3 охраняемой территории отобрали пробы почв согласно ГОСТу [15] для проведения комплексной токсикологической оценки в сертифицированной лаборатории «Invitro».

Для статистической обработки использовали программу Statistica 13.

Основные результаты и их обсуждение

В 2021 и 2026 годах исследований IFA листовой пластинки деревьев *B. pendula*, произрастающей в условиях лесопарка, составил 0,036 и 0,040, соответственно (табл. 1). По пятибалльной шкале стабильности развития [11] состояние *B. pendula* в биотопах № 1, 2, 4 соответствует условной норме (балл I). Материал, собранный в условиях лесопарка, сравнили с материалом из зоны умеренного загрязнения среды (экотоп 5), где по шкале стабильности развития выявлены средние нарушения в развитии *B. pendula* (балл III). Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ выявил достоверность влияния средовых характеристик на стабильность развития *B. pendula* в годы исследования ($F = 29{,}629$, $p < 0{,}001$). Несмотря на погодные флуктуации не установлено статистически значимого влияния фактора «год» на IFA ($F = 0.035$, $p > 0{,}05$). Следовательно, за 5 лет характеристика качества среды обитания биотопов 1 и 2 охраняемого лесопарка, расположенных в 100 м от автодороги, по величине интегрального показателя стабильности развития *B. pendula* сохранилась на прежнем уровне. Шеффе-тест выявил значимые различия IFA между группами *B. pendula* участков 1–2 и 5 по данным 2021 г. и 2026 г., участков 3–4 и 5 по данным 2026 г. ($p < 0{,}05$-$0{,}001$). Это соответствует характеристике зон загрязнения атмосферного воздуха стационарных постов [10] и ранней фитоиндикационной оценке [4]: участки 1–4 относятся к зоне наименьшего загрязнения среды промышленно-транспортными выбросами, участок 4 — к умеренной зоне.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 1 - IFA (M±m) *Betula pendula* и балльная оценка здоровья среды

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.83.3

Участок	2021 г.	Балл	2026 г.	Балл
1	0,036 ± 0,0016	I	0,036 ± 0,0015	I
2	0,039 ± 0,0008	I	0,038 ± 0,0011	I
3	–		0,040 ± 0,0010	II
4	–		0,039 ± 0,0023	I
5	0,047 ± 0,0016	III	0,047 ± 0,0019	III

Интерес представляет биотоп 3 в «Сосновой роще», IFA *B. pendula* составила 0,040, что соответствует баллу II шкалы здоровья среды и незначительным нарушениям в стабильности развития особей модельного вида дерева, произрастающих в данном местообитании. Токсикологическая оценка почв трех биотопов (1–3) не выявила превышение по подавляющему большинству тяжелых металлов, а также нефтепродуктов. Единственное превышение тяжелого металла марганца в 1,86 раза зафиксировано именно в почве биотопа 3, что не удовлетворяет требованиям СанПиН [16].

Согласно литературным данным, дерново-подзолистые и подзолистые почвы отличаются повышенными значениями как валового содержания марганца, так и его мобильных форм [17]. Для минерального питания растений первостепенное значение имеют именно подвижные соединения, концентрация которых в почвенном растворе находится в прямой зависимости от уровня кислотности среды. Негативное воздействие избытка ионов Mn^{2+} на растительные организмы начинает проявляться при значениях pH ниже или равных 5,5 [18]. Фитотоксический эффект выражается в подавлении физиологических и биохимических функций, инициировании окислительного стресса, что, в свою очередь, приводит к угнетению роста, уменьшению биологической продуктивности, а при выраженном стрессе — к полной гибели растений [19].

По степени оподзоленности в лесопарке преобладают сильноподзолистые почвы [20]. pH почвы биотопа 3 составляет 6,2, подвижная форма марганца составляет 36 мг/кг, что соответствует норме [16]. Данный биотоп находится на границе «Сосновой рощи», ближе к преобразованным человеком землям — частному сектору. Вероятно, превышение валового содержания марганца в почве может быть обусловлено как естественными причинами, так и антропогенной нагрузкой — использованием переизбытка удобрений или обеззараживанием почвы.

В результате исследований в ООПТ «Сосновая роща» для *K. resedae* было выявлено 11 признаков элементов рисунка надкрылий из 15 упомянутых в авторской методике Б.В. Логвиновского [12]. Исследование Центрального парка города показало наличие в популяции *K. resedae* 10 из 15 указанных признаков. Вместе с тем было идентифицировано 12 новых фенотипических вариантов.

Элемент рисунка A надкрыльев клопа представлен четырьмя разными фенами: A1, A3, A4, A5. Морфа A3 характерна только для участков в лесопарке (рис. 3). Самый распространенный фен во всех изучаемых локациях — A1. Для данного признака выявлена тенденция увеличения частоты встречаемости особей с вариацией признака A4, по мере усиления антропогенной нагрузки ($\chi2=49{,}010$, $\upsilon=6$, $p < 0{,}01$).

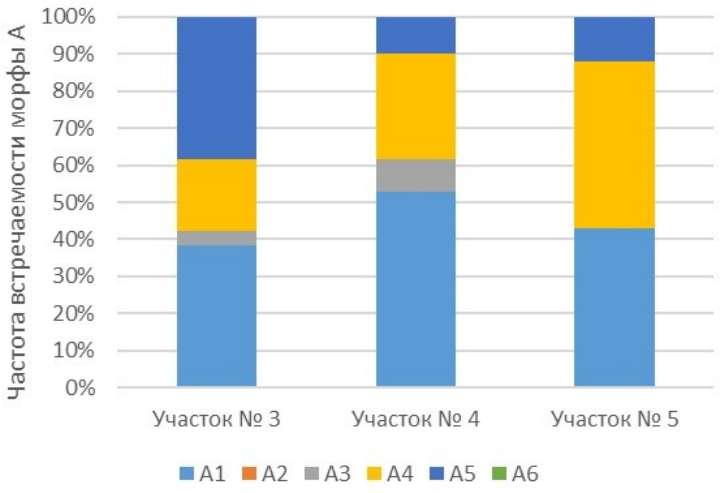


Рисунок 3 - Встречаемость признака B рисунка покровов *Kleidocerys resedae* в различных местообитаниях

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.83.4

Новый обнаруженный нами признак F представлен двумя морфами F1 и F2 [13]. Обе морфы встречаются на всех участках сбора, преобладающей является морфа F2. Для данного признака выявлена следующая закономерность: при увеличении антропогенной нагрузки увеличивается число особей с морфой F1 ($\chi2=9{,}009$, $\upsilon=2$, $p < 0{,}05$).

 © Авторы статьи / Authors of the article

Оценка проявления ФА в рисунках на покровах *K. resedae* выявила следующее. Наибольшее количество асимметричных особей обнаружено на участке 5, и составляет 32 особи, а наименьшее число особей с асимметрией наблюдается на участке № 3–15 особей (рис. 4). Наибольшая частота встречаемости особей с асимметрией характерна для признака D, наименьшая для признака F, а у морфы E вовсе не выявлены. Проведенный расчет средней частоты асимметричного проявления признака исследуемых выборок показал, что участок 3 находится в зоне условной нормы уровня антропогенного загрязнения, участки 4 и 5 расположены в районе слабого загрязнения.

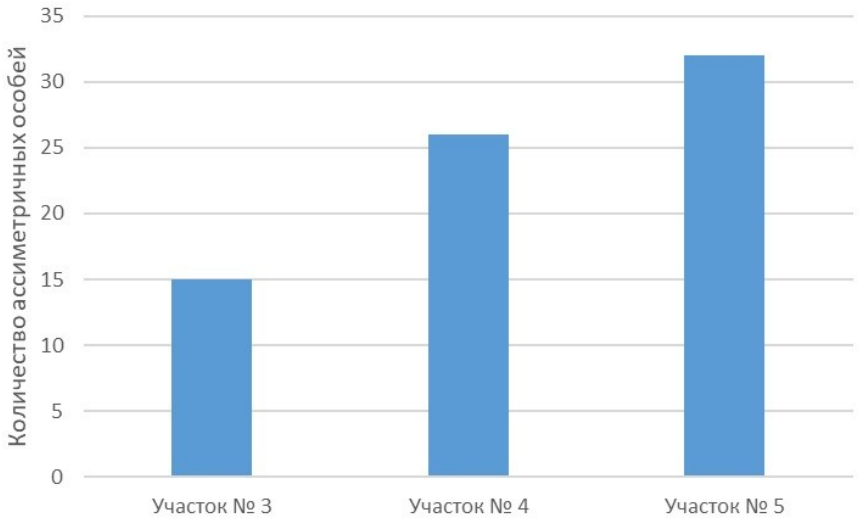


Рисунок 4 - Распределение асимметричных особей *K. resedae* для изучаемых местообитаний
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.83.5

Следует особо отметить биотоп № 3, где у *B. pendula* зафиксирован IFA = 0,040, что соответствует II баллу (незначительные нарушения), тогда как в остальных точках лесопарка показатели стабильности развития оставались в пределах I балла. Почвенный анализ этого участка выявил единственное превышение среди тяжелых металлов — валовое содержание марганца, при этом подвижная форма Mn^{2+} и pH не выходили за пределы допустимых значений. Согласно литературным данным, подзолистые почвы региона изначально богаты марганцем [17], однако столь выраженное накопление валовой формы именно в биотопе 3, расположенном на границе с частным сектором, позволяет предположить дополнительное антропогенное поступление. Интересно, что в этом же биотопе отмечена минимальная частота асимметричных особей *K. resedae*, что контрастирует с более высокими значениями на участке 4. Такое расхождение может объясняться либо видовой спецификой чувствительности к марганцу, либо тем, что валовое содержание металла не всегда коррелирует с его биодоступностью при данных значениях pH, либо же действием неучтенных факторов, например, микрорельефа или растительного покрова. Тем не менее, совместное использование двух индикаторов – растения и насекомого – позволяет более объективно охарактеризовать экологическое состояние. Если для *B. pendula* биотоп 3 демонстрирует начальные признаки стресса, то популяция клопа в этом местообитании выглядит относительно стабильной, что требует дальнейшего мониторинга для выявления причин такой асинхронии.

Заключение

Проведенное исследование показало, что комплексная биоиндикация с использованием двух таксономически удаленных модельных объектов — *Betula pendula* и *Kleidocerys resedae* – позволяет получать взаимодополняющую информацию о состоянии окружающей среды. По интегральному показателю флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *B. pendula* качество среды в ООПТ «Сосновая роща» через 4 года после прокладки автомобильной дороги оценивается как соответствующее условной норме, что свидетельствует об отсутствии выраженного негативного эффекта от транспортной инфраструктуры на расстоянии 100 м от магистрали. Данные по фенетической изменчивости и частоте асимметрии рисунка надкрылий клопа подтверждают это заключение: доля асимметричных особей на всех лесопарковых участках ниже, чем в зоне умеренного загрязнения.

Вместе с тем обнаруженное локальное повышение валового содержания марганца в почве одного из биотопов лесопарка, совпадающее с незначительными нарушениями стабильности развития *B. pendula*, указывает на существование микроучастков с потенциально повышенной стрессовой нагрузкой. Несмотря на то, что подвижные формы металла не превышают норму, а популяция клопа *K. resedae* в этом биотопе демонстрирует минимальную асимметрию, вопрос о причинах и последствиях данного отклонения остается открытым.

В целом, ООПТ «Сосновая роща» сохраняет свою рекреационную и природоохранную ценность даже при наличии локального антропогенного воздействия. Регулярный мониторинг с применением метода флуктуирующей асимметрии, дополненный химическим анализом почв, рекомендуется вести на постоянной основе для раннего обнаружения неблагоприятных тенденций.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Финансирование

Исследование финансировано Президентским фондом природы, проект № ЭКО-26-2-000987.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was funded by the Presidential Foundation for Nature: Project № ECO-26-2-000987.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: A biological monitor of environmental and genomic stress / P.A. Parsons // Heredity. — 1992. — Vol. 68. — P. 361–364.

2. Захаров В.М. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / В.М. Захаров, Д.М. Кларк. — Москва: Московское отд. междунар. фонда «Биотест», 1993. — 68 с.

3. Graham J.H. Fluctuating Asymmetry and Developmental Instability, a Guide to Best Practice / J.H. Graham // Symmetry. — 2021. — Vol. 13 (1). — P. 9. — DOI: 10.3390/sym13010009.

4. Shadrina E. Fluctuating Asymmetry in Morphological Characteristics of Betula Pendula Roth Leaf under Conditions of Urban Ecosystems: Evaluation of the Multi-Factor Negative Impact / E. Shadrina, N. Turmukhametova, V. Soldatova [et al.] // Symmetry. — 2020. — Vol. 12 (8). — Art. 1317. — P. 1–35. — DOI: 10.3390/sym12081317.

5. Erofeeva E.A. Change of Leaf Trait Asymmetry Type in Tilia cordata Mill. and Betula pendula Roth under Air Pollution / E.A. Erofeeva, B.N. Yakimov // Symmetry. — 2020. — Vol. 12 (5). — Art. 727. — DOI: 10.3390/sym12050727.

6. Чудновская Г.В. Особенности биомониторинга урбанизированных территорий с использованием флуктуирующей асимметрии разных видов древесных растений (на примере Иркутска) / Г.В. Чудновская, О.В. Чернакова // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. — 2025. — Т. 30. — № 2. — С. 260–271.

7. Оспанова Г.С. Изучение фенетической изменчивости популяции клопа-солдатика в условиях Южно-Казахстанской области / Г.С. Оспанова, С.Б. Артыкова, Г.Т. Бозшатаева [и др.] // Международный журнал экспериментального образования. — 2015. — № 3-1. — С. 94–97.

8. Турмухаметова Н.В. Оценка качества среды обитания по показателям флуктуирующей асимметрии березы повислой и клопа-солдатика в условиях урбоэкосистемы / Н.В. Турмухаметова // Пространственно-временные аспекты функционирования биосистем : сборник материалов XVI Международной научной экологической конференции, посвященной памяти А.В. Присного, 24–26 ноября 2020 г. / отв. ред. Ю.А. Присный. — Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2020. — С. 329–331.

9. Логвиновский Б.В. Опыт использования проявлений флуктуирующей асимметрии в структуре покровов клопа Kleidocerys resedae Pz. (Heteroptera, Lygaeidae) для оценки здоровья среды / Б.В. Логвиновский, В.Б. Голуб // Состояние и проблемы экосистем среднерусской лесостепи. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2004. — С. 86–90.

10. Доклад об экологической ситуации в Республике Марий Эл за 2025 год / Министерство природных ресурсов, экологии и охраны окружающей среды Республики Марий Эл. — Ижевск: ООО «Принт», 2026. — 180 с.

11. Захаров В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов [и др.]. — Москва, 2000. — 66 с.

12. Логвиновский Б.В. Популяционно-фенетическая структура вида в условиях среднерусской лесостепи (на примере Kleidocerys resedae Pz.; Insecta: Heteroptera: Lygaeidae) : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.02.08 / Б.В. Логвиновский. — Воронеж, 2011. — 22 с.

13. Турмухаметова Н.В. К оценке флуктуирующей асимметрии покровов Kleidocerys resedae Pz / Н.В. Турмухаметова, Ю.В. Терентьева, Д.С. Окач // Международный научно-исследовательский журнал. — 2025. — № 11 (161). — URL: https://research-journal.org/archive/11-161-2025-november/10.60797/IRJ.2025.161.13 (дата обращения: 17.11.2025). — DOI: 10.60797/IRJ.2025.161.13.

14. Пат. 2329501 Российская Федерация, МПК G 01 № 33/24. Способ биоиндикации среды / Батлуцкая И.В., Хорольская Е.Н., Глотов В.А. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Белгородский государственный университет». — № 2006140295/13 ; заявл. 16.11.2006 ; опубл. 20.07.2008.

15. ГОСТ Р 58595-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Отбор проб. — Введ. 2020–01–01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200168814 (дата обращения: 10.07.2026).

16. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». — URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf (дата обращения: 31.07.2026).

17. Шихова Л.Н. Тяжелые металлы в почвах и растениях Северо-Востока европейской части России / Л.Н. Шихова, Т.Л. Егошина. — Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2004. — 264 с.

18. Millaleo R. Mn as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms / R. Millaleo, M. Reyes-Díaz, A.G. Ivanov [et al.] // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. — 2010. — Vol. 10 (4). — P. 476–494. — DOI: 10.4067/S0718-95162010000200008.

19. Santos E.F. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses / E.F. Santos, J.M. Kondo Santini, A.P. Paixão [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. — 2017. — Vol. 113. — P. 6–19. — DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.01.022.

 © Авторы статьи / Authors of the article

20. Отчет на выполнение работ по инвентаризации зеленых насаждений и проектирование мероприятий в границах ООПТ «Сосновая роща» / Информационный портал города Йошкар-Олы. — Йошкар-Ола, 2013. — 155 с. — URL: https://i-ola.ru/city/ecologia/Ot4et_po_OOPT_SosnovRosha.pdf (дата обращения: 31.07.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: A biological monitor of environmental and genomic stress / P.A. Parsons // Heredity. — 1992. — Vol. 68. — P. 361–364.

2. Zakharov V.M. Biotest. Integral'naya otsenka zdorov'ya ekosistem i otdel'nykh vidov [Biotest: Integrated Assessment of the Health of Ecosystems and Individual Species] / V.M. Zakharov, D.M. Clarke. — Moscow: Moscow Branch of the International 'Biotest' Foundation, 1993. — 68 p. [in Russian]

3. Graham J.H. Fluctuating Asymmetry and Developmental Instability, a Guide to Best Practice / J.H. Graham // Symmetry. — 2021. — Vol. 13 (1). — P. 9. — DOI: 10.3390/sym13010009.

4. Shadrina E. Fluctuating Asymmetry in Morphological Characteristics of Betula Pendula Roth Leaf under Conditions of Urban Ecosystems: Evaluation of the Multi-Factor Negative Impact / E. Shadrina, N. Turmukhametova, V. Soldatova [et al.] // Symmetry. — 2020. — Vol. 12 (8). — Art. 1317. — P. 1–35. — DOI: 10.3390/sym12081317.

5. Erofeeva E.A. Change of Leaf Trait Asymmetry Type in Tilia cordata Mill. and Betula pendula Roth under Air Pollution / E.A. Erofeeva, B.N. Yakimov // Symmetry. — 2020. — Vol. 12 (5). — Art. 727. — DOI: 10.3390/sym12050727.

6. Chudnovskaya G.V. Osobennosti biomonitoringa urbanizirovannykh territoriy s ispol'zovaniem fluktuiruyushchey asimmetrii raznykh vidov drevesnykh rasteniy (na primere Irkutska) [Specifics of biomonitoring in urbanized areas using fluctuating asymmetry in various woody plant species (a case study of Irkutsk)] / G.V. Chudnovskaya, O.V. Chernakova // Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki [Natural Resources of the Arctic and Subarctic]. — 2025. — Vol. 30. — № 2. — P. 260–271. [in Russian]

7. Ospanova G.S. Izuchenie feneticheskoy izmenchivosti populyatsii klopa-soldatika v usloviyakh Yuzhno-Kazakhstanskoy oblasti [Study of phenetic variability of the soldier bug population in the conditions of the South Kazakhstan region] / G.S. Ospanova, S.B. Artykova, G.T. Bozshataeva [et al.] // Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya [International Journal of Experimental Education]. — 2015. — № 3-1. — P. 94–97. [in Russian]

8. Turmukhametova N.V. Otsenka kachestva sredy obitaniya po pokazatelyam fluktuiruyushchey asimmetrii berezy povisloy i klopa-soldatika v usloviyakh urboekosistemy [Assessment of habitat quality based on fluctuating asymmetry indices in Betula pendula and the red-shouldered bug Pyrrhocoris apterus within an urban ecosystem] / N.V. Turmukhametova // Prostranstvenno-vremennye aspekty funktsionirovaniya biosistem : sbornik materialov XVI Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati A.V. Prisnogo, 24–26 noyabrya 2020 g. [Spatio-temporal aspects of biosystem functioning : Proceedings of the XVI International Scientific Ecological Conference dedicated to the memory of A.V. Prisny, November 24–26, 2020] / resp. ed. Yu.A. Prisnyy. — Belgorod: ID "BelSU" SRI "BelSU", 2020. — P. 329–331. [in Russian]

9. Logvinovskiy B.V. Opyt ispol'zovaniya proyavleniy fluktuiruyushchey asimmetrii v strukture pokrovov klopa Kleidocerys resedae Pz. (Heteroptera, Lygaeidae) dlya otsenki zdorov'ya sredy [Experience of using manifestations of fluctuating asymmetry in the structure of the integument of the bug Kleidocerys resedae Pz. (Heteroptera, Lygaeidae) for assessing the health of the environment] / B.V. Logvinovskiy, V.B. Golub // Sostoyanie i problemy ekosistem srednerusskoy lesostepi [State and Problems of Ecosystems of the Central Russian Forest-Steppe]. — Voronezh: Publishing House of Voronezh University, 2004. — P. 86–90. [in Russian]

10. Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Respublike Mariy El za 2025 god [Report on the Environmental Situation in the Republic of Mari El for 2025] / Ministerstvo prirodnykh resursov, ekologii i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Mariy El [Ministry of Natural Resources, Ecology and Environmental Protection of the Republic of Mari El]. — Izhevsk: LLC "Print", 2026. — 180 p. [in Russian]

11. Zakharov V.M. Zdorov'e sredy: metodika otsenki [Health of the Environment: Assessment Methodology] / V.M. Zakharov, A.S. Baranov, V.I. Borisov [et al.]. — Moscow, 2000. — 66 p. [in Russian]

12. Logvinovskiy B.V. Populyatsionno-feneticheskaya struktura vida v usloviyakh srednerusskoy lesostepi (na primere Kleidocerys resedae Pz.; Insecta: Heteroptera: Lygaeidae) [Population-phenetic structure of the species in the conditions of the Central Russian forest-steppe (on the example of Kleidocerys resedae Pz.; Insecta: Heteroptera: Lygaeidae)] : abst. diss. … PhD in Biology : 03.02.08 / B.V. Logvinovskiy. — Voronezh, 2011. — 22 p. [in Russian]

13. Turmukhametova N.V. K otsenke fluktuiruyushchey asimmetrii pokrovov Kleidocerys resedae Pz [On the assessment of fluctuating asymmetry of the integuments of Kleidocerys resedae Pz] / N.V. Turmukhametova, Yu.V. Terent'eva, D.S. Okach // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2025. — № 11 (161). — URL: https://research-journal.org/archive/11-161-2025-november/10.60797/IRJ.2025.161.13 (accessed: 17.11.2025). — DOI: 10.60797/IRJ.2025.161.13. [in Russian]

14. Pat. 2329501 Russian Federation, MPK G 01 N 33/24. Sposob bioindikatsii sredy [Method of bioindication of the environment] / Batlutskaya I.V., Khorol'skaya E.N., Glotov V.A. ; the applicant and the patentee GOU VPO "Belgorod State University". — № 2006140295/13 ; appl. 11/16/06 ; publ. 07/20/08. [in Russian]

15. GOST R 58595-2019. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Pochvy. Otbor prob [National Standard of the Russian Federation. Soils. Sampling]. — Introduced. 2020–01–01. — Moscow: Standartinform, 2019. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200168814 (accessed: 10.07.2026). [in Russian]

16. SanPiN 1.2.3685-21 "Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya" ["Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of

 © Авторы статьи / Authors of the article

environmental factors for humans"]. — URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf (accessed: 31.07.2026). [in Russian]

17. Shikhova L.N. Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Severo-Vostoka evropeyskoy chasti Rossii [Heavy metals in soils and plants of the North-East of the European part of Russia] / L.N. Shikhova, T.L. Egoshina. — Kirov: North-East Regional Agricultural Research Institute, 2004. — 264 p. [in Russian]

18. Millaleo R. Mn as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms / R. Millaleo, M. Reyes-Díaz, A.G. Ivanov [et al.] // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. — 2010. — Vol. 10 (4). — P. 476–494. — DOI: 10.4067/S0718-95162010000200008.

19. Santos E.F. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses / E.F. Santos, J.M. Kondo Santini, A.P. Paixão [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. — 2017. — Vol. 113. — P. 6–19. — DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.01.022.

20. Otchet na vypolnenie rabot po inventarizatsii zelenykh nasazhdeniy i proektirovanie meropriyatiy v granitsakh OOPT "Sosnovaya roshcha" [Report on the implementation of work on the inventory of green spaces and the design of activities within the boundaries of the specially protected natural area "Sosnovaya Roshcha"] / Informatsionnyy portal goroda Yoshkar-Oly [Information Portal of the City of Yoshkar-Ola]. — Yoshkar-Ola, 2013. — 155 p. — URL: https://i-ola.ru/city/ecologia/Ot4et_po_OOPT_SosnovRosha.pdf (accessed: 31.07.2026). [in Russian]