



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения** К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2602296
(22) 08.06.2026
(46) Бюл. 234, 2026
(71) Бобокалонзода Джамолиддин Муродали (TJ)
(72) Давлатзода Сайфиддин Хайриддин (TJ),
Бобокалонзода Джамолиддин Муродали (TJ),
Ишбирдин Айрат Римович (RU)
(73) Бобокалонзода Джамолиддин Муродали (TJ)
(54) **СПОСОБ БИОИНДИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ
ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ
СРЕДЫ ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ И
МОРФОИНТЕГРАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ
ЛИСТЬЕВ (PLATANUS ORIENTALIS L.)**
(57) Изобретение относится к области экологии,
ботаники, дендроиндикации и экологического
мониторинга городской среды. Способ включает
стандартизированный отбор листьев *Platanus
orientalis* L. с не менее чем трех деревьев по
четырем экспозициям кроны, цифровое

2

измерение морфометрических признаков
листовой пластинки и черешка, расчет
флуктуирующей асимметрии, коэффициентов
вариации, отклонения длины черешка и
показателя морфологической интеграции с
последующим расчетом индекса I-Platanus. По
значению индекса от 0 до 1 территорию относят
к благоприятной, умеренно напряженной,
напряженной или неблагоприятной зоне.
Технический результат заключается в
повышении надежности, доступности и
воспроизводимости оценки качества городской
среды за счет использования
видоспецифического комплекса признаков
платана восточного и числового
биоиндикационного индекса.

Изобретение относится к области экологии, ботаники, биоиндикации, дендроиндикации, физиологии растений и экологического мониторинга городской среды. Способ предназначен для экспресс-оценки качества урбанизированной среды и техногенного, автотранспортного и рекреационного воздействия по морфометрическим и морфоинтеграционным признакам листьев платана восточного *Platanus orientalis* L.

Проблема, решаемая изобретением

В южных и аридных городах платан восточный широко используется в озеленении улиц, парков, площадей и санитарно-защитных зон, однако существующие способы биоиндикации загрязнения воздуха чаще ориентированы на березу, лишайники, мхи или дистанционные методы. Это снижает применимость известных решений в городах, где береза не является массовым видом, а лабораторные или дистанционные методы требуют специального оборудования и не дают простой числовой оценки состояния конкретного городского участка.

Задача заявленного способа состоит в создании доступного, воспроизводимого и пригодного для массового городского мониторинга критерия, который позволяет по одному распространенному виду - *Platanus orientalis* L. - получить числовой индекс экологического напряжения и отнести территорию к определенному классу качества среды.

Уровень техники, аналоги и прототип

Известен способ RU2569748C2, предусматривающий сравнительную индикацию загрязненности воздуха по флуктуирующей асимметрии листьев березы с измерением параметров левой и правой сторон листа. Указанный способ является наиболее близким прототипом, поскольку также использует лист древесного растения и морфометрический подход.

Известен способ RU2736935C1, в котором загрязнение воздуха оценивают по разнице фрактальных размерностей правой и левой половин листьев березы. Также известен способ RU2424540C2, относящийся к оценке состояния почвенно-растительного покрова по данным многоспектрального аэрокосмического зондирования. Эти решения подтверждают актуальность оценки состояния среды по растительным объектам, но не раскрывают специализированный способ оценки качества городской среды по листьям *Platanus orientalis* L. с расчетом комплексного индекса.

Недостатки прототипа и известных аналогов

- прототип привязан к березе и не учитывает морфологическую специфику листа *Platanus orientalis* L.;
- известные способы используют преимущественно флуктуирующую асимметрию или фрактальную размерность, но не объединяют асимметрию, вариацию признаков, длину черешка и морфологическую интеграцию листовой пластинки;
- отсутствует стандартизированный отбор листьев по высоте, экспозиции кроны, возрасту дерева и фенофазе, что повышает риск случайной ошибки;
- не предложена специальная шкала интерпретации для южных городов и аридных урбанизированных

территорий, где платан восточный является одним из основных видов озеленения;

- при использовании дистанционного зондирования невозможно получить детальную оценку морфометрического ответа отдельных деревьев на локальную транспортную или промышленную нагрузку;

- не предусмотрена возможность цифрового измерения листа по фото или скану с масштабной линейкой без сложного лабораторного оборудования.

Отличительные признаки заявленного способа

Заявленный способ отличается от прототипа тем, что в качестве растения-индикатора используют *Platanus orientalis* L., а оценку проводят не по одному признаку, а по совокупности видоспецифических морфометрических и морфоинтеграционных показателей. К отличительным признакам относятся:

- отбор листьев платана восточного с не менее чем трех деревьев сопоставимого возраста и состояния;
- стандартизация отбора по четырем экспозициям кроны, сопоставимой высоте и одинаковой фенофазе;
- цифровая фиксация листа путем сканирования или фотографирования с масштабной линейкой;
- измерение длины и ширины листовой пластинки, длины черешка, расстояния между основаниями боковых жилок, расстояния от черешка до основания боковой жилки, углов отхождения жилок и симметричных линейных признаков правой и левой половин листа;
- расчет показателя флуктуирующей асимметрии, коэффициентов вариации, отклонения длины черешка от контрольной зоны и показателя морфологической интеграции;
- формирование комбинированного индекса I-*Platanus* с последующей классификацией качества городской среды.

Цель изобретения

Целью заявленного способа является повышение надежности, доступности и воспроизводимости биоиндикационной оценки качества городской среды за счет использования листьев *Platanus orientalis* L. и расчета комплексного индекса, отражающего не только асимметрию, но и согласованность морфометрического развития листовой пластинки.

Сущность изобретения

Сущность способа состоит в том, что на контрольной и исследуемой территории выбирают деревья *Platanus orientalis* L. сопоставимого возраста, высоты, санитарного состояния и условий освещения. С каждого дерева отбирают типичные полностью сформированные листья из северной, южной, восточной и западной экспозиций кроны на стандартизированной высоте. Каждый лист сканируют или фотографируют на контрастном фоне с масштабной линейкой, после чего в цифровой среде измеряют диагностические признаки листовой пластинки и черешка.

Для каждого модельного участка рассчитывают: показатель флуктуирующей асимметрии FA, коэффициенты вариации диагностических признаков CV, относительное отклонение длины черешка ΔP и

показатель морфологической интеграции MI.

Показатель FA показывает, насколько правая и левая стороны листа отличаются друг от друга. Его рассчитывают по формуле:

$FA = (1/m) \sum (|X_R - X_L| / ((X_R + X_L)/2))$, где X_R - размер признака с правой стороны листа, X_L - размер такого же признака с левой стороны листа, m - количество измеренных пар признаков. Т.е., сначала сравнивают правую и левую стороны листа. Затем определяют, насколько они отличаются. После этого все отличия складывают и получают среднее значение. Чем выше FA, тем сильнее нарушена симметрия листа. Это может указывать на более выраженное воздействие загрязнения или других неблагоприятных факторов городской среды.

Коэффициенты вариации диагностических признаков CV показывают, насколько сильно один и тот же признак отличается у разных листьев одной зоны.

Например, если измеряют расстояние A1 у 30 листьев, то сначала находят среднее значение A1, затем определяют стандартное отклонение и рассчитывают коэффициент вариации:

$CV = (SD / M) \times 100\%$, где CV - коэффициент вариации признака; SD - стандартное отклонение; M - среднее значение признака.

Например:

$CV_{A1} = (SD_{A1} / M_{A1}) \times 100\%$,

$CV_{A2} = (SD_{A2} / M_{A2}) \times 100\%$.

Чем выше CV, тем сильнее разброс признака между листьями. Это означает, что листья формируются менее равномерно, что может быть признаком неблагоприятного воздействия городской среды.

Относительное отклонение длины черешка DP показывает, насколько длина черешка на исследуемом участке отличается от контрольной зоны.

Его можно рассчитывать по формуле: $DP = |P_{иссл} - P_{контр}| / P_{контр}$, где $P_{иссл}$ - средняя длина черешка листьев на исследуемом участке; $P_{контр}$ - средняя длина черешка листьев в контрольной благоприятной зоне.

Например, если в контрольной зоне средняя длина черешка равна 6,0 см, а в загрязненной зоне - 4,8 см, то: $DP = |4,8 - 6,0| / 6,0 = 0,20$. Это означает, что длина черешка отличается от контроля на 20%.

Показатель морфологической интеграции MI показывает, насколько согласованно между собой изменяются разные признаки листа: длина листа, ширина, длина черешка, расстояния A1 и A2. Т.е., MI показывает, сохраняет ли лист нормальную пропорциональность строения. Если все признаки изменяются согласованно, лист развивается более стабильно. Если признаки изменяются хаотично, это говорит о нарушении морфологической целостности листа. Для расчета MI можно определить связи между основными признаками листа и рассчитать среднее значение этих связей: $MI = \text{среднее значение } |r|$ между признаками L, W, P, A1 и A2, где r - коэффициент корреляции между двумя признаками листа. Чем выше MI, тем лучше согласованность строения листа. При неблагоприятном воздействии среды морфологическая интеграция обычно снижается. Поэтому для индекса I-Platanus можно

использовать нормированный показатель нарушения интеграции: $MI_n = 1 - (MI_{иссл} / MI_{контр})$, где $MI_{иссл}$ - показатель морфологической интеграции на исследуемом участке; $MI_{контр}$ - показатель морфологической интеграции в контрольной зоне.

Таким образом, CV показывает разброс признаков, DP показывает отклонение длины черешка от нормы, а MI показывает согласованность строения листа. Чем выше CV, DP и MI_n , тем сильнее выражены морфометрические нарушения листьев и тем хуже экологическое состояние участка.

Затем указанные показатели нормируют относительно контрольной выборки того же года и фазы и получают комбинированный индекс I-Platanus.

В предпочтительном варианте исполнения индекс рассчитывают по формуле:

$I\text{-Platanus} = 0.30FA_n + 0.20CV_{A1n} + 0.15CV_{A2n} + 0.15DP_n + 0.20MI_n$, где FA_n - нормированный показатель асимметрии листа; CV_{A1n} - нормированный показатель изменчивости расстояния между основаниями боковых жилок; CV_{A2n} - нормированный показатель изменчивости расстояния от черешка до основания боковой жилки; DP_n - нормированное отклонение длины черешка от контрольного значения; MI_n - нормированный показатель морфологической интеграции листа. Т.е., в этой формуле объединяются несколько признаков листа: симметрия, изменчивость размеров, длина черешка и согласованность строения листа. Каждый показатель имеет свой вес. Самый большой вес имеет FA_n , потому что нарушение симметрии листа является одним из наиболее чувствительных признаков неблагоприятного воздействия среды. Чем выше значение I-Platanus, тем сильнее выражены морфометрические изменения листьев и тем хуже экологическое состояние исследуемого участка. Все частные показатели приводят к диапазону от 0 до 1, где 0 соответствует минимальному отклонению от контрольной зоны, а 1 - максимальному выраженному отклонению.

Таблица 1 - Диагностические признаки и расчетные показатели заявленного способа

Обозначение	Показатель	Способ получения
	Биоиндикационное значение	
L	длина листовой пластинки	измерение от основания пластинки до верхушки листа
	отражает ростовую реакцию листа	
W	максимальная ширина листовой пластинки	измерение между наиболее удаленными боковыми точками
	характеризует площадь и развитие пластинки	
P	длина черешка	измерение от основания листовой пластинки до места прикрепления черешка
	чувствительна к стрессу и условиям освещения	
A1	расстояние между основаниями боковых жилок	цифровое измерение между симметричными точками основания жилок
	показывает изменение архитектоники листа	

A2 расстояние от черешка до основания боковой жилки измерение от точки перехода черешка в пластинку до основания боковой жилки отражает нарушение симметрии нижнего сектора листа

α угол отхождения боковой жилки измерение угла между центральной и боковой жилкой дополняет оценку флуктуирующей асимметрии

MI морфологическая интеграция расчет средней согласованности корреляций между признаками отражает устойчивость морфогенеза листа

Нормирование показателей

Нормирование проводят относительно контрольной зоны, выбранной на удалении от основных источников автотранспортного и промышленного воздействия. При наличии многолетнего мониторинга допускается использовать контрольную выборку того же сезона или среднее контрольное значение за 2-3 предыдущих года. Для исключения влияния межсезонной изменчивости сравнение проводят в пределах одной фенофазы листа.

Частные показатели могут нормироваться по формуле $K = \min(|Q_{\text{иссл}} - Q_{\text{контр}}| / D_{\text{крит}}, 1)$, где $Q_{\text{иссл}}$ - значение показателя на исследуемом участке, $Q_{\text{контр}}$ - значение показателя в контрольной зоне, $D_{\text{крит}}$ - критическое отклонение, установленное по контрольной выборке или предварительному мониторингу. Для показателя морфологической интеграции используют обратное нормирование, поскольку при техногенном стрессе согласованность признаков обычно снижается: $MI_n = \min((MI_{\text{контр}} - MI_{\text{иссл}}) / MI_{\text{контр}}, 1)$.

Таблица 2 - Интерпретация индекса I-Platanus

I-Platanus	Класс качества среды	Интерпретация	Рекомендуемые действия
0.00-0.25	благоприятна	морфометрические отклонения минимальны	плановое наблюдение
0.26-0.50	умеренно напряженная	имеются признаки слабого или умеренного воздействия	профилактический контроль и повторная оценка
0.51-0.75	напряженная	отмечаются выраженные изменения формы и согласованности признаков листаснижение нагрузки, озеленение, уточняющий мониторинг	
0.76-1.00	неблагоприятная	высокая степень морфометрического нарушения	комплексные природоохранные мероприятия

Технический результат

Технический результат заключается в повышении надежности и воспроизводимости биоиндикационной оценки городской среды, снижении влияния случайной сезонной и индивидуальной изменчивости листьев, расширении применимости метода для южных и аридных городов, а также в получении числового индекса, пригодного для сравнения городских участков, динамического мониторинга и принятия природоохранных решений.

Дополнительный технический результат состоит в том, что способ не требует дорогостоящего

лабораторного анализа, может выполняться с использованием стандартного сканера, смартфона или цифровой камеры с масштабной линейкой и позволяет проводить оценку как по собранным листьям, так и по цифровым изображениям листьев без их отделения от побега.

Осуществление способа

Способ реализуют следующим образом. На исследуемой территории выделяют контрольную зону и одну или несколько зон предполагаемого техногенного воздействия: вдоль транспортной магистрали, около промышленного объекта, в зоне плотной городской застройки или на рекреационной территории. В каждой зоне выбирают не менее трех деревьев *Platanus orientalis* L. сопоставимого возраста и состояния. При возможности исключают деревья с выраженными механическими повреждениями ствола, сильной обрезкой кроны, болезнями или локальным затенением, поскольку такие факторы могут искажать морфометрический ответ листа.

С каждого дерева отбирают не менее 10-15 типичных листьев, а на каждом модельном участке - не менее 30-45 листьев. Отбор проводят в одной фенофазе, предпочтительно после полного формирования листовой пластинки, при сухой погоде. Листья берут с сопоставимой высоты, например 1.5-2.5 м от поверхности почвы, по четырем экспозициям кроны. Поврежденные, недоразвитые, пораженные вредителями или механически деформированные листья исключают.

Каждый лист размещают на плоской поверхности, расправляют без растяжения, фиксируют с масштабной линейкой и получают изображение. В программе цифрового измерения определяют диагностические признаки L, W, P, A1, A2, углы α и симметричные правые и левые линейные показатели. После этого рассчитывают частные показатели FA, CV, ΔP и MI, нормируют их и получают I-Platanus. По полученному значению индекса присваивают класс качества городской среды.

Примеры осуществления способа

Пример 1. Благоприятная зона

В контрольной парковой зоне отобрано 45 листьев с трех деревьев *Platanus orientalis* L. После цифрового измерения получены низкие значения асимметрии и вариации признаков. Нормированные показатели составили: $FA_n = 0.08$; $CV_{A1n} = 0.10$; $CV_{A2n} = 0.12$; $\Delta P_n = 0.05$; $MI_n = 0.10$. Расчет: $I\text{-Platanus} = 0.30 \times 0.08 + 0.20 \times 0.10 + 0.15 \times 0.12 + 0.15 \times 0.05 + 0.20 \times 0.10 = 0.09$. Территория относится к благоприятной зоне.

Пример 2. Участок вдоль транспортной магистрали
Вдоль дороги с интенсивным движением отобрано 45 листьев с трех деревьев. Отмечено увеличение вариации A1 и A2, рост асимметрии и снижение морфологической интеграции. Нормированные показатели составили: $FA_n = 0.55$; $CV_{A1n} = 0.62$; $CV_{A2n} = 0.58$; $\Delta P_n = 0.45$; $MI_n = 0.50$. Расчет: $I\text{-Platanus} = 0.30 \times 0.55 + 0.20 \times 0.62 + 0.15 \times 0.58 + 0.15 \times 0.45 + 0.20 \times 0.50 = 0.54$. Территория относится к напряженной зоне и требует повторного мониторинга и снижения локальной нагрузки.

Пример 3. Промышленно-нагруженная зона

В зоне, расположенной вблизи промышленного объекта и транспортного потока, отобрано 45 листьев. Выявлены выраженная асимметрия, высокая изменчивость расстояний между основаниями боковых жилок, укорочение черешка относительно контроля и снижение согласованности морфометрических признаков. Нормированные показатели составили: $FA_n = 0.82$; $CV_{A1n} = 0.78$; $CV_{A2n} = 0.86$; $\Delta P_n = 0.76$; $MI_n = 0.80$. Расчет: $I-Platanus = 0.30 \times 0.82 + 0.20 \times 0.78 + 0.15 \times 0.86 + 0.15 \times 0.76 + 0.20 \times 0.80 = 0.81$. Территория относится к неблагоприятной зоне.

Таблица 3 - Примеры расчета индекса I-Platanus

Зона	Нормированные показатели	I-Platanus
Класс		

Парковая контрольная зона	$FA_n 0.08$; $CV_{A1n} 0.10$; $CV_{A2n} 0.12$; $\Delta P_n 0.05$; $MI_n 0.10$	0.09
благоприятная		

Транспортная магистраль	$FA_n 0.55$; $CV_{A1n} 0.62$; $CV_{A2n} 0.58$; $\Delta P_n 0.45$; $MI_n 0.50$	0.54
напряженная		

Промышленно-нагруженная зона $FA_n 0.82$; $CV_{A1n} 0.78$; $CV_{A2n} 0.86$; $\Delta P_n 0.76$; $MI_n 0.80$.
0.81
неблагоприятная

Преимущества заявленного способа

- способ адаптирован к городам, где *Platanus orientalis* L. широко используется в озеленении;
- обеспечивает числовую оценку, а не только качественное описание состояния листьев;
- учитывает не один параметр, а комплекс признаков листовой пластинки, что повышает устойчивость результата;
- может применяться без дорогостоящего лабораторного оборудования;
- позволяет сравнивать участки между собой и проводить повторный мониторинг в динамике;
- подходит для предварительной экологической оценки улиц,

Формула изобретения

Способ биоиндикационной оценки техногенного загрязнения городской среды, включающий отбор листьев древесного растения, измерение морфометрических признаков листовой пластинки и расчет показателя асимметрии, отличающийся тем, что в качестве биоиндикатора используют листья *Platanus orientalis* L., при этом листья отбирают с не менее чем трех деревьев сопоставимого возраста и состояния по четырем экспозициям кроны на стандартизированной высоте, каждый лист сканируют или фотографируют с масштабной линейкой, измеряют длину листовой пластинки, максимальную ширину листовой пластинки, длину черешка, расстояние между основаниями боковых жилок, расстояние от черешка до основания боковой жилки, углы отхождения жилок и симметричные линейные признаки правой и левой половин листа, затем рассчитывают показатель флуктуирующей асимметрии, коэффициенты вариации указанных признаков, отклонение длины черешка от контрольной зоны, показатель морфологической интеграции и комбинированный индекс I-Platanus, по которому определяют класс качества городской среды.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что показатель флуктуирующей асимметрии рассчитывают как среднее значение относительной разницы между правыми и левыми симметричными признаками листа по формуле $FA = (1/m) \sum (|X_R - X_L| / ((X_R + X_L)/2))$. Чем выше FA, тем сильнее нарушена симметрия листа. Это может указывать на более выраженное воздействие загрязнения или других неблагоприятных факторов городской среды.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что показатель морфологической интеграции рассчитывают как среднее значение абсолютных коэффициентов корреляции между

диагностическими признаками листа, а снижение указанного показателя относительно контрольной зоны используют как признак нарушения согласованности развития листовой пластинки.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что индекс I-Platanus рассчитывают как взвешенную сумму нормированных значений флуктуирующей асимметрии, коэффициентов вариации индикаторных признаков, отклонения длины черешка от контроля и показателя нарушения морфологической интеграции по формуле $I-Platanus = 0.30FA_n + 0.20CV_{A1n} + 0.15CV_{A2n} + 0.15\Delta P_n + 0.20MI_n$. Чем выше значение I-Platanus, тем сильнее выражены морфометрические изменения листьев и тем хуже экологическое состояние исследуемого участка.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что контрольную зону выбирают на удалении от основных источников автотранспортного и промышленного загрязнения, а исследуемую зону выбирают в направлении преобладающего воздействия источника загрязнения.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что для снижения влияния межсезонной изменчивости результаты нормируют по контрольной выборке того же года и той же фазы.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при отсутствии возможности сбора листьев измерения выполняют по цифровым изображениям листьев, полученным без отделения листа от побега.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что качество городской среды определяют по шкале I-Platanus от 0 до 1 с выделением классов: благоприятная, умеренно напряженная, напряженная и неблагоприятная среда.