



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

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

1

(21) 2602294

(22) 08.06.2026

(46) Бюл. 234, 2026

(71) Бобокалонзода Джамолиддин Муродали (TJ)

(72) Давлатзода Сайфиддин Хайриддин (TJ),

Бобокалонзода Джамолиддин Муродали (TJ)

(73) Бобокалонзода Джамолиддин Муродали (TJ)

(54) **СПОСОБ ИНТЕГРАЛЬНОЙ
БИОИНДИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ
АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ
РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА АРИДНЫХ И
СУБАРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

(57) Изобретение относится к экологии, геоботанике, биоиндикации и мониторингу растительного покрова. Предложен способ интегральной биоиндикационной оценки антропогенной трансформации растительного покрова аридных и субаридных территорий, включающий деление территории на ландшафтно-геоботанические полигоны, получение дистанционных данных,

2

проведение современных полевых описаний, сопоставление с архивными геоботаническими материалами, регистрацию морфометрических признаков листьев растений-индикаторов, формирование матрицы антропогенных факторов, расчет интегрального индекса IATR и построение карты экологического состояния. Индекс рассчитывают по нормированным показателям изменения доминантного состава, снижения проективного покрытия, исторической утраты растительного сообщества, утраты редких и эндемичных видов, присутствия инвазивных и синантропных видов, интенсивности антропогенной нагрузки и морфометрических нарушений листьев. Технический результат заключается в повышении точности, объективности и воспроизводимости оценки, выявлении зон экологического риска и формировании адресных природоохранных решений для каждого полигона.

Изобретение относится к области экологии, геоботаники, биоиндикации, дистанционного и полевого мониторинга растительного покрова и может быть использовано для оценки степени антропогенной трансформации растительных сообществ на аридных и субаридных территориях, в пригородных ландшафтах, промышленных зонах, пастбищных массивах, участках рекреационной нагрузки и территориях с выраженным хозяйственным освоением.

Проблема, решаемая заявленным способом, заключается в отсутствии простой, воспроизводимой и одновременно комплексной методики, позволяющей в едином алгоритме учитывать дистанционные данные, современные полевые геоботанические описания, архивные сведения о прежнем состоянии растительности, морфометрические признаки листьев растений-индикаторов, типы антропогенной нагрузки и итоговую категорию экологического состояния территории. Известные подходы чаще оценивают отдельный компонент среды - спектральные показатели растительности, загрязнение воздуха по листьям либо пастбищную деградацию - и не формируют адресное природоохранное решение для каждого исследуемого участка.

Аналоги и прототип

Известен способ RU2424540C2, в котором параметры состояния почвенно-растительного покрова определяют по данным многоспектрального аэрокосмического зондирования с выделением класса растительности, расчетом фитомассы, параметров тепло-, влаго- и энергообмена и биопродуктивности. Недостатком данного решения является зависимость от специальной аппаратуры и обработки данных дистанционного зондирования, а также отсутствие прямого учета архивных геоботанических описаний, морфометрических признаков листьев, редких и инвазивных видов и паспорта природоохранного решения.

Известен способ RU2632946C2 определения индекса экотопической приуроченности, относящийся к биомониторингу и биоиндикации состояния окружающей среды. Недостаток указанного способа состоит в том, что он ориентирован на расчет видовой приуроченности и не обеспечивает комплексной оценки исторической утраты растительного сообщества, фрагментации, восстановления и антропогенной нагрузки конкретного полигона.

Известен способ RU2390001C2 биоиндикации пастбищной деградации в растительных сообществах настоящих степей, основанный на выделении индикаторных видов. Его недостатком является узкая ориентация на пастбищную деградацию степных сообществ и отсутствие универсального картографического алгоритма для территорий с сочетанным влиянием выпаса, распашки, застройки, промышленной разработки, засоления и рекреационной нагрузки.

Известны способы RU2569748C2 и RU2736935C1, использующие признаки листьев древесных растений для сравнительной индикации

загрязнения воздуха. Недостатком данных решений является то, что морфометрия листьев применяется преимущественно как индикатор загрязнения атмосферного воздуха и не объединяется с геоботаническими, историческими, ландшафтными и управленческими данными для оценки общей антропогенной трансформации растительного покрова.

Наиболее близким прототипом выбран RU2424540C2 как способ оценки состояния почвенно-растительного покрова на основе дистанционных данных. Однако прототип не решает задачу интегрального ранжирования ландшафтно-геоботанических полигонов по степени антропогенной трансформации с учетом полевых, архивных, морфометрических и управленческих критериев.

Недостатки прототипа - не предусматривает одновременного использования дистанционных данных, современных полевых описаний и архивных геоботанических материалов;

- не включает раздельное кодирование типов антропогенной нагрузки, таких как распашка, выпас, сенокосение, вырубка, засоление, строительство, промышленная разработка, пожары и рекреационное воздействие;
- не учитывает диагностическую роль редких, эндемичных, инвазивных и синантропных видов;
- не использует морфометрические признаки листьев растений-индикаторов как дополнительный биоиндикационный блок;
- не формирует паспорт участка с категорией трансформации и конкретным природоохранным решением;
- не обеспечивает удобное повторное сравнение территории во времени после восстановительных мероприятий.

Цель изобретения

Целью заявленного способа является повышение точности, объективности и воспроизводимости оценки антропогенной трансформации растительного покрова за счет объединения дистанционных, полевых, архивных, морфометрических и управленческих критериев в едином интегральном индексе IATR с последующим построением карты экологического состояния и выбором природоохранного решения для каждого полигона.

Отличительные признаки заявленного способа

- исследуемую территорию предварительно делят на ландшафтно-геоботанические полигоны с использованием космических снимков, топографических карт, карт землепользования и предварительного дешифрирования;
- для каждого полигона выполняют современные полевые геоботанические описания, включающие доминанты, субдоминанты, проективное покрытие, фрагментацию, состояние почвы и признаки хозяйственного воздействия;
- современные данные сопоставляют с архивными описаниями, картами и материалами прежних исследований, что позволяет определить историческую утрату естественного сообщества;

- формируют матрицу антропогенных факторов с раздельным кодированием распашки, выпаса, сенокоса, вырубки, засоления, строительства, промышленной разработки, рекреационной нагрузки, пожаров и дорожного влияния;
- дополнительно регистрируют морфометрические признаки листьев растений-индикаторов, включая площадь листовой пластинки, асимметрию, повреждение края, некрозы, хлороз, усыхание и степень механического повреждения;
- рассчитывают интегральный индекс антропогенной трансформации IATR по нормированным блокам изменения доминантного состава, проективного покрытия, исторической утраты, состояния редких и эндемичных видов, инвазивных и синантропных видов, антропогенной нагрузки и морфометрических нарушений листьев;
- по значению IATR каждому полигону присваивают класс трансформации и адресное природоохранное решение: сохранить, ограничить нагрузку, восстановить, рекультивировать, провести лесомелиорацию, создать микрозаказник или повторно обследовать через заданный интервал.

Сущность изобретения

Сущность заявленного способа состоит в том, что исследуемую территорию делят на однородные ландшафтно-геоботанические полигоны, для каждого полигона собирают дистанционные, полевые, архивные и морфометрические данные, переводят показатели в нормированную шкалу от 0 до 1, после чего рассчитывают интегральный индекс антропогенной трансформации растительного покрова IATR. Полученное значение используют не только для ранжирования территории, но и для принятия конкретного природоохранного решения. В отличие от визуальной экспертной оценки, заявленный способ имеет формализованную последовательность действий, единые шкалы нормирования и расчетный критерий. Это снижает субъективность, позволяет сравнивать участки между собой и применять метод повторно при мониторинге через 3-5 лет либо после проведения восстановительных мероприятий.

Расчетный критерий

Интегральный индекс антропогенной трансформации IATR показывает общий уровень изменения растительного покрова под влиянием городской среды.

Его рассчитывают по формуле:

$$IATR = (wD \times XD + wP \times XP + wH \times XH + wR \times XR + wI \times XI + wL \times XL + wM \times XM) / (wD + wP + wH + wR + wI + wL + wM),$$
 где XD, XP, XH, XR, XI, XL и XM - отдельные показатели, которые отражают разные признаки антропогенной трансформации территории, например плотность застройки, близость к дорогам, степень нарушения растительности, рекреационную нагрузку, промышленное влияние, состояние озеленения и механическое повреждение растений.

wD, wP, wH, wR, wI, wL и wM - весовые коэффициенты. Они показывают, насколько важен каждый показатель в общей оценке. Т.е., сначала для каждого участка оценивают несколько факторов

антропогенной нагрузки. Затем каждый фактор умножают на его вес. После этого все значения складывают и делят на сумму весов. В результате получают один общий показатель IATR. Чем выше значение IATR, тем сильнее выражена антропогенная трансформация территории. Низкое значение индекса указывает на благоприятное состояние растительного покрова, а высокое значение - на выраженное нарушение городской среды.

Каждый показатель X_i нормируют в диапазоне от 0 до 1, где 0 соответствует отсутствию или минимальному проявлению нарушения, а 1 - максимально выраженному нарушению. Весовые коэффициенты выбирают в пределах от 0,05 до 0,30 с учетом природной зоны, типа растительности, цели мониторинга и полноты архивной информации. В базовом варианте используют следующие веса: wD = 0,20; wP = 0,15; wH = 0,20; wR = 0,15; wI = 0,10; wL = 0,10; wM = 0,10.

Таблица 1. Шкала интерпретации интегрального индекса антропогенной трансформации IATR

Значение IATR	Класс трансформации	Экологическая интерпретация
0,00-0,25	Слабая	Растительный покров в целом сохранен, признаки нарушения единичные
0,26-0,50	Умеренная	Имеются устойчивые признаки изменения структуры сообщества
0,51-0,75	Выраженная	Нарушение влияет на структуру, видовой состав и восстановительный потенциал
0,76-1,00	Критическая	Растительный покров значительно деградирован или замещен вторичными сообществами

Осуществление способа

- На первом этапе собирают исходные материалы: космические снимки, топографические карты, данные землепользования, архивные геоботанические описания, сведения о прежних растительных сообществах и расположении источников антропогенной нагрузки.

- На втором этапе исследуемую территорию делят на ландшафтно-геоботанические полигоны. Границы полигонов уточняют по типу растительности, рельефу, степени освоения, наличию дорог, поселений, сельскохозяйственных участков, промышленных объектов и зон рекреации.

- На третьем этапе в период вегетации выполняют полевые описания. На каждом полигоне фиксируют доминанты, субдоминанты,

проективное покрытие, долю сорных и синантропных видов, наличие редких или эндемичных видов, фрагментацию покрова, признаки усыхания, эрозии, засоления и механического нарушения.

- На четвертом этапе выбирают растения-индикаторы и отбирают листья с одинаковых экспозиционных условий. Измеряют площадь листа, асимметрию, длину и ширину листовой пластинки, выраженность некроза, хлороза, повреждения края, усыхания и механических дефектов. Полученные признаки переводят в морфометрический показатель ХМ.

- На пятом этапе формируют матрицу антропогенных факторов. Для каждого фактора указывают наличие, интенсивность и пространственную близость к полигону. Интенсивность кодируют по шкале 0-1 или по балльной шкале с последующим нормированием.

- На шестом этапе рассчитывают частные нормированные показатели XD, XP, XH, XR, XI, XL и ХМ, затем определяют интегральный индекс IATR по формуле.

- На седьмом этапе строят карту экологического состояния, присваивают каждому полигону класс трансформации и формируют паспорт участка, включающий координаты, основной тип нагрузки, индекс IATR, класс трансформации и рекомендуемое природоохранное решение.

Технический результат

Технический результат заключается в повышении точности, объективности и воспроизводимости оценки антропогенной трансформации растительного покрова за счет интеграции дистанционных, полевых, исторических, морфометрических и управленческих данных в единую расчетную систему. Дополнительный технический результат состоит в возможности раннего выявления участков экологического риска, построения карты приоритетов восстановления, сравнения территорий между собой и повторной оценки динамики через 3-5 лет.

Заявленный способ снижает зависимость результата от субъективного визуального описания и позволяет получить единый числовой критерий, пригодный для мониторинга, экологического паспортирования, планирования рекультивации и обоснования природоохранных мероприятий.

Эффективность способа и примеры расчета

Эффективность способа подтверждается возможностью количественно различать участки с разной степенью антропогенной нагрузки и переводить результаты обследования в конкретное природоохранное решение. Ниже приведен пример расчета IATR для четырех модельных участков аридной и субаридной территории Южного Таджикистана.

Таблица 2. Пример расчета IATR для модельных участков

Блок оценки	Вес	Участок А	Участок В	Участок С	Участок Д
сохраненный					
умеренная нагрузка					
придорожный					
критически нарушенный					
XD - изменение доминантов	0,20	0,10	0,35		
	0,55	0,85			
XP - снижение покрытия	0,15	0,10	0,40		
	0,60	0,80			
XH - историческая утрата	0,20	0,15	0,45		
	0,65	0,95			
XR - утрата редких видов	0,15	0,10	0,35		
	0,60	0,90			
XI - инвазивные виды	0,10	0,05	0,30	0,70	
	0,80				
XL - нагрузка	0,10	0,20	0,50	0,75	0,90
XM - морфометрия листьев	0,10	0,15	0,35		
	0,65	0,85			
Итоговый IATR	1,00	0,12	0,39	0,63	0,86
Класс -	слабая	умеренная	выраженная		
		критическая			

Пример 1. Участок А представляет собой относительно сохраненный фрагмент естественной растительности с низкой долей синантропных видов и единичными морфометрическими нарушениями листьев. Расчет IATR = 0,12 соответствует слабой трансформации. Рекомендуется сохранение участка и плановый мониторинг.

Пример 2. Участок В расположен в зоне умеренного выпаса и рекреационного воздействия. Отмечаются снижение проективного покрытия, появление сорных видов и умеренные повреждения листьев. IATR = 0,39 соответствует умеренной трансформации. Рекомендуется ограничение локальной нагрузки и повторная оценка после вегетационного сезона.

Пример 3. Участок С расположен вдоль дороги и испытывает комбинированное влияние транспорта, уплотнения почвы и фрагментации растительного покрова. IATR = 0,63 соответствует выраженной трансформации. Рекомендуются восстановительные мероприятия, ограничение рекреационной нагрузки и контроль состояния растений-индикаторов.

Пример 4. Участок Д соответствует территории бывшего естественного сообщества, замещенного вторичными агроценозами и синантропными группировками, с выраженной исторической утратой, снижением проективного покрытия и высоким уровнем морфометрических повреждений листьев. IATR = 0,86 соответствует критической трансформации. Рекомендуются рекультивация, лесомелиорация и формирование семенного донорного участка или микрозаказника.

Формула изобретения

1. Способ интегральной биоиндикационной оценки антропогенной трансформации растительного покрова аридных и субаридных территорий, включающий получение дистанционных данных о растительности и проведение полевых геоботанических описаний, отличающийся тем, что исследуемую территорию предварительно делят на ландшафтно-геоботанические полигоны, для каждого полигона выполняют современные полевые геоботанические описания, сопоставляют их с архивными геоботаническими описаниями и историческими картографическими материалами, регистрируют морфометрические признаки листьев растений-индикаторов, формируют матрицу антропогенных факторов, рассчитывают интегральный индекс антропогенной трансформации IATR по нормированным показателям изменения доминантного состава, снижения проективного покрытия, исторической утраты растительного сообщества, утраты редких и эндемичных видов, присутствия инвазивных и синантропных видов, интенсивности антропогенной нагрузки и морфометрических нарушений листьев, после чего строят карту экологического состояния с присвоением каждому полигону класса трансформации и природоохранного решения.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в матрицу антропогенных факторов включают распашку, выпас, сенокошение, вырубку, засоление, строительство населенных пунктов, промышленную разработку, дорожное влияние, рекреационную нагрузку и пожары, причем каждый фактор кодируют по интенсивности и пространственной близости к исследуемому полигону.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что морфометрические признаки листьев растений-

индикаторов включают площадь листовой пластинки, асимметрию, длину, ширину, повреждение края, некроз, хлороз, усыхание и механические дефекты, а полученные значения переводят в нормированный показатель ХМ в диапазоне от 0 до 1.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что интегральный индекс IATR рассчитывают по формуле $IATR = (wD \times XD + wP \times XP + wH \times XH + wR \times XR + wI \times XI + wL \times XL + wM \times XM) / (wD + wP + wH + wR + wI + wL + wM)$, где XD, XP, XH, XR, XI, XL и XM являются нормированными показателями соответствующих блоков, а wD, wP, wH, wR, wI, wL и wM являются весовыми коэффициентами, выбранными в пределах от 0,05 до 0,30.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что классы трансформации определяют по значению IATR как слабую трансформацию при 0,00-0,25, умеренную при 0,26-0,50, выраженную при 0,51-0,75 и критическую при 0,76-1,00.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что природоохранное решение выбирают из группы: сохранение участка, ограничение выпаса, ограничение распашки, ограничение рекреационной нагрузки, создание микрозаказника, сбор семенного материала, лесомелиорация, рекультивация, противозерозионное восстановление и повторная оценка через 3-5 лет.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что карту экологического состояния обновляют с периодичностью не реже одного раза в 3-5 лет и используют для выявления направленности смен растительного покрова во времени и оценки эффективности восстановительных мероприятий.