

трудов «Информационные системы и технологии: теория и практика» - СПб.: СПбГЛТУ, 2019. №10. – с.3-10.

5. Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1987.

УДК 712.25(476-25):528

**М.Л. Романова, А.Р. Понтус,  
С.В. Зенькович, М.М. Максимов**

Институт экспериментальной  
ботаники Национальной Академии наук Беларуси

## **СОСТОЯНИЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ МИНСКА ПО ДАНЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И НАЗЕМНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ**

Сейчас в растительном покрове урбанизированных территорий происходят, в основном, сложные и неоднозначные изменения. Сложность заключается в многофакторности и скорости прохождения процессов. Поэтому использование аэрокосмических методов исследования на урбанизированных территориях позволяет зафиксировать, учесть и оценить эти изменения, и способствовать качественному распределению объектов растительного мира для комфортного проживания. Для этой цели в пяти экологических зонах Минска были выбраны наземные тестовые полигоны (ТП) они являются точками сборки наземных и спутниковых данных о состоянии зеленых насаждений, что необходимо для решения задач их последующей автоматической инвентаризации и классификации.

Для исследований использовались снимки спутников БКА и Sentinel-2. Критерием отбора снимков являлась минимальная облачность (без дымки и облаков) и достаточный для оценки зеленых насаждений период активной вегетации. Из имеющихся материалов, были выбраны наиболее

качественные снимки, где сезонная динамика хорошо просматривалась и даты съемки приближены к одинаковым вегетационным фазам за последние 3 года.

В процессе обработки данных ДЗЗ рассчитывались следующие индексы: NDVI, GNDVI, MSAVI, SIPI. Полученные индексы были привязаны к наземным тестовым полигонам. По архитектурно-планировочным данным УП «Минскградо» выполнена геопривязка по «твердым контурам и объективным узлам местности» генерального плана г. Минска, местоположения ландшафтно-рекреационных территорий, качественная оценка состояния окружающей среды, сведений об обеспеченности населения рекреационными территориями, схемы улично-дорожной сети из открытых источников (OpenStreetMap, GISI.ab, и других). Оценка состояния окружающей среды проводилась по следующим зонам в категориях: благоприятная, относительно благоприятная, относительно неблагоприятная, неблагоприятная и наиболее неблагоприятная. Затем все полученные показатели по индексам укладывались в 3 категории; по качеству зеленых насаждений: хорошие, удовлетворительные и неудовлетворительные.

Для оценки состояния озеленения в этих зонах проводились подспутниковые – наземные исследования зеленых насаждений на 12 тестовых полигонах в жилых кварталах (для репрезентативного исследования взяты круговые площадки, радиусом 500 м (оптические эталоны сравнения (ОЭС)) и все озелененные площади в выбранных 8 парках. В благоприятной зоне находится дендропарк «Медвежино», в относительно благоприятной парк «Курасовщина», Киевский сквер и Ботанический сад, относительно неблагоприятная представлена Кальварийским кладбищем, в неблагоприятной зоне находится Парк имени Янки Купалы и Еврейский мемориальный парк, в наиболее неблагоприятной – Парк имени 50-летия Октября. В 12-ти жилых кварталах, также находящихся во всех экологических зонах города, главным условием подбора было наличие в жилых кварталах необходимой площади, покрытой зелеными насаждениями.

На всех 20 тестовых полигонах определялся видовой состав, возраст, высота, диаметр древостоя, отбирались пробы растительного материала (образцы листьев и иглицы) для каждого доминантного вида в нескольких повторностях с разных деревьев (от 5 до 10 деревьев) для получения средневзвешенного образца. Объектами исследований были

растения в возрасте 30–90 лет. Учитывались: 1. Социальный статус деревьев по показателям класса Крафта; 2. Степень затенения крон; 3. Степень дефолиации; 4. Степень дехромации крон; 5. Степень распространенности заболеваний; 6. Поврежденность деревьев. На деревьях выделяют четыре важные части: а) листья и хвоя; б) ветви, побеги, почки; в) ствол; г) корни и шейка дерева. В каждой части дерева можно наблюдать воздействие насекомых, грибов, условий погоды и других факторов. Их воздействие может носить совершенно безвредный характер, а может иметь большие последствия, вплоть до гибели дерева.

Таким образом, оценивалось влияние среды на состояние основных видов городских деревьев. Так, ранний отпад листвы наблюдается после появления некрозов и хлорозов. Заболевания деревьев вызваны загрязнением субстрата и воздуха, минирующей молью и фитопатогенными микромицетами. Из-за интенсивной обрезки ветвей развиваются стволовые гнили. Деревья (в основном, каштаны), произрастающие у проезжей части дороги с интенсивным движением испытывают постоянный стресс, что приводит к их быстрой гибели. Деревья внутриквартального озеленения относятся к ослабленным, а близки больших улиц сильно ослабленным.

По нашим наблюдениям, в составе древесной растительности Минска доминируют всего 6–7 видов растений из 11 видов распространенных в озеленении. Всего было зафиксировано 30 видов. В лабораторных условиях в отобранных образцах листьев были определены показатели, характеризующие устойчивость и физиологическое состояние растительных организмов по содержанию фотосинтетических пигментов.

Известно, что одним из показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к стрессовым ситуациям, повреждениям болезнями и вредителями является содержание хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки.

Основным из фотосинтетических пигментов растений является хлорофилл *a*. Молекула хлорофилла в хлоропластах листа растения выполняет три важнейшие функции: избирательно поглощает энергию света; запасает ее в виде энергии электронного возбуждения и фотохимически преобразовывает ее в химическую энергию первичных фотовосстановленных и фотоокисленных соединений. Изменения

растений в ходе онтогенеза, старения, а также при действии на них неблагоприятных и повреждающих факторов среды (токсические вещества, загрязнители атмосферы, заболевания) сопровождаются изменениями не только содержания, но и соотношения пигментов. При уменьшении содержания хлорофилла *a* в зеленых листьях растений происходит увеличение доли вспомогательных пигментов – хлорофилла *b* и/или каротиноидов, выполняющих функции дополнительных и защитных пигментов, что рассматривается как адаптивная реакция ассимиляционного аппарата растений на любой стресс.

Проведя корреляционный анализ данных лабораторных исследований и ДЗЗ, было установлено, что коэффициент корреляции Пирсона для индекса NDVI и содержания хлорофилла в кронах пород представленных на ТП, составил 84,52%, а коэффициент детерминации - 71,43%.

Для индекса SIPI и содержания каротиноидов в кронах пород, он составил 86,05%, а коэффициент детерминации - 74,05%, соответственно. Полученные цифры свидетельствуют о наличии достаточно тесной связи между данными космических и наземных исследований.

Также выявлены достаточно тесные корреляционные связи между содержанием хлорофилла и индексом SIPI.

В ходе исследований установлено, что имеется четкая прямопропорциональная зависимость между величиной индексов NDVI, SIPI и степенью дехромации крон из-за пораженности листьев фитопигментными грибами и листогрызущими насекомыми.

К наиболее пораженным относятся каштаны (степень поражения 95%), также поражены практически все виды тополей (степень поражения 75%), все виды липы (степень поражения 50 %) и дуба (40%). Менее поражены клен, береза, ясень и хвойные. На ТП, где большой процент этих пород, индексы всегда ниже, чем на несильно затронутых вредителями.

Таким образом, данные, полученные со спутников репрезентативны для использования в экологической оценке состояния зеленых насаждений в категориях: хорошие (зеленый цвет), удовлетворительные (желтый цвет) и неудовлетворительные (красный цвет), что видно из таблицы (Таблица).

**Таблица - Категории индексов ДЗЗ для 12 жилых кварталов г.Минска\***

Индекс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NDVI	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Orange	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
GNDVI	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
SIPI	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
MSAVI	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow

\*1. район ул. Одоевского; 2. микрорайон «Кунцевщина»; 3. район ул. Осипенко; 4. Район ул. Куйбышева; 5. район бульвара Толбухина; 6. Зеленый луг; ул. Карбышева; 7. район тракторного завода; 8. микрорайон «Чижовка»; 9. район ул. Чкалова; 10. микрорайон «Курасовщина»; 11. микрорайон «Серебрянка»; микрорайон «Михалово».

Как жители, так и специалисты сходятся в том, что количество зеленых насаждений в Минске сокращается, а их качество ухудшается. Конструктивным подходом к проблеме будет разработка тематического классификатора учета и оценки качества зеленых насаждений города Минска и прилегающих территорий. Построенный с применением различных съемочных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), такой классификатор позволит, ориентируясь, по спектральным характеристикам объектов, определять состояние зеленых насаждений, выделяя территории, находящиеся в неудовлетворительном, удовлетворительном и хорошем состоянии.

УДК 528.063:631.58

**А.С. Симакина<sup>1,2</sup>, М.Г. Ерунова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет

<sup>2</sup>Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук

## **РАСЧЕТ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ NDVI, VARI И SIGREEN ДЛЯ ОПХ «КУРАГИНСКОЕ»**

**Аннотация.** В работе описана возможность использования спутниковых снимков PlanetScore для вычисления вегетационных индексов на территорию ОПХ «Курагиносское». Для дешифрирования космических снимков использовали