

ной роли кустарников по отношению к деревьям, расширение видового ассортимента зеленых насаждений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Википедия [Электронный ресурс] Красноярск. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.
2. Красноярск. Администрация города [Электронный ресурс] Атмосферный воздух. – Режим доступа: <http://www.admkrsk.ru>.
3. Иванова, О.И. Анализ экологического состояния города Красноярска и оценка его воздействия на рынок недвижимости / О. И. Иванова, С. В. Евтушенко // International agricultural journal Том 64, № 2, 2021. - с. 46-57.
4. Предварительная оценка воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности АО «РУСАЛ Красноярск» в период действия комплексного экологического разрешения [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.admkrsk.ru/citytoday/ecology/Documents/Предварительная%20ОВОС\\_РУСАЛ%20Красноярск.pdf](http://www.admkrsk.ru/citytoday/ecology/Documents/Предварительная%20ОВОС_РУСАЛ%20Красноярск.pdf).
5. Нормы посадки деревьев и кустарников городских зеленых насаждений. М.: Отдел научно-технической информации АКХ, 1988. 82 с.
6. Борисов, М.В. Нормативно-техническое регулирование в области озеленения городской среды / М. В. Борисов, Н. В. Бакаева, И. В. Черняева // Вестник МГСУ Том 15, № 2, 2020. - с. 212-222.

УДК 630\*57 : 004 (630\*561 + 639.783)

Я.А. Рыжов, асп.

(ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Российская Федерация)

### **БЕСПЛАТНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ В ИНФОРМАЦИОННОЙ ОЦЕНКЕ ПРИРОСТА ЛЕСНОГО НАСАЖДЕНИЯ ВДОЛЬ ЛИНЕЙНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОРИДОРА: ВОЗМОЖНОСТИ И ОЦЕНКА ОГРАНИЧЕНИЙ**

**Аннотация:** Исследование охватывает точность данных, сосредоточенную на динамике роста растительности, предоставляя комплексный взгляд на применимость каждого спутника для оценки прироста лесного насаждения вдоль энергетических коридоров с акцентом на Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) с использованием 3 ключевых спутников – Sentinel-1-2, Landsat 7-8 и MODIS, предоставляющих многоканальные данные для расчета NDVI.

Технология [8] искусственного восстановления и содействия естественному возобновлению леса, в сочетании с рациональным

управлением растительностью вдоль линейных энергетических коридоров, должна обязательно включать группы операций многокритериального мониторинга лесных участков для оценки последующего аэросева [9,10] и подготовки лесосеменного материала [12,13].

Для систематического наблюдения и информационной оценки [11] динамики роста растительности одним из важных направлений исследований становится использование бесплатных спутниковых систем [7]. Применительно к оценке нежелательного прироста вдоль энергетических коридоров (линий электропередач) методика не только предоставляет уникальную возможность оперативного выявления изменений в лесных насаждениях, но также приобретает стратегическое значение в контексте своевременной реакции на необходимость регулирования растительности в прилегающих к коридорам зонах. Такой подход становится ключевым инструментом для обеспечения безопасности и эффективной эксплуатации энергетических систем.

Для анализа растительности применяются спектральные индексы, включая NDVI, EVI, NDWI и SAVI. NDVI-индекс (Normalized Difference Vegetation Index) выделяется как наиболее подходящий для оценки прироста лесного покрытия вдоль энергетических коридоров. Он обеспечивает информацию о фотосинтетической активности и общей зелёной массе растений. Исследование, проведенное Romera-García M. et al. [1] в 2019 году, подтвердило, что NDVI является наиболее эффективным индексом для анализа прироста лесного насаждения после обрезки. NDVI позволяет оценить плотность лесной растительности и её виталитет, что делает его более точным индексом для анализа прироста лесного покрытия после обрезки.

Основываясь на широком использовании в различных областях, включая экологию и лесное хозяйство, NDVI предоставляет надежный индикатор для мониторинга изменений в растительном покрытии. Важным аспектом также является доступность данных для вычисления NDVI на основе многоканальных изображений, предоставляемых спутниками, такими как Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat и MODIS.

Sentinel-1 и Sentinel-2, разработанные Европейским космическим агентством (ESA), предоставляют оптические изображения поверхности Земли с высоким разрешением. У обоих спутников есть свои преимущества и недостатки при изучении роста леса вдоль линейных энергетических объектов.

Sentinel-1 имеет различные режимы наблюдения с разными ширинами полос и разрешениями, включая Stripmap (SM) с разрешением 5 м, Interferometric Wide swath (IW) с разрешением 5 м x 20 м и Extra Wide swath (EW) с разрешением 25 м x 100 м. Работая совместно с Sentinel-2, они обеспечивают повторение наблюдения каждые 6 дней.

Sentinel-1 использует C-band Synthetic Aperture Radar (C-SAR) с центральной частотой 5.405 ГГц, а данные доступны бесплатно [2].

Sentinel-2 предоставляет различные пространственные разрешения (от 10 м до 60 м) в зависимости от спектрального диапазона, включая 13 спектральных полос в видимом, ближнем инфракрасном и коротковолновом инфракрасном диапазонах. Данные Sentinel-2 также доступны бесплатно [3].

При расчете индекса NDVI предпочтительнее использовать данные Sentinel-2, так как он предоставляет нужные спектральные диапазоны. Исследование, сравнивающее данные и индексы обоих спутников, подтвердило преимущества Sentinel-2 для расчета NDVI в сельскохозяйственном мониторинге. Оптические индексы, такие как NDVI, широко используются в мониторинге растительности, и в регионах с постоянным облачным покрытием активные системы, такие как SAR (Sentinel-1), могут быть более эффективными для мониторинга на больших площадях [4].

Landsat – программа спутников, разработанная Геологической службой США (USGS), предоставляющая оптические изображения поверхности Земли с умеренным разрешением. Она обладает рядом преимуществ и недостатков в оценке роста леса вдоль линейных энергетических объектов.

Многоканальные возможности изображений Landsat позволяют обнаруживать изменения растительности со временем, что полезно для изучения роста леса вдоль линейных энергетических объектов. Благодаря долгой истории сбора данных (с 1972 года), исследователи могут анализировать изменения покрытия растительности с высокой точностью. Спектральные полосы оптимизированы для различных типов анализа растительности, таких как обнаружение хлорофилла или содержания воды в листьях. Однако, ограничения включают чувствительность оптических датчиков к облачности, что может ограничивать доступность изображений для определенных регионов и периодов времени. Пространственное разрешение (30 м) может быть недостаточным для детального анализа отдельных деревьев.

Время повторного прохода Landsat в 16 дней может ограничивать точность отслеживания изменений покрытия растительности. Исследование подтвердило эффективность использования техник дистанционного зондирования и географических информационных систем с использованием данных Landsat для мониторинга и прогнозирования изменений землепользования и землекрытия в Китае [5].

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) - это инструмент, разработанный НАСА и установленный на спутниках Terra и Aqua. Он собирает данные в 36 спектральных полосах, которые за-

тем используются для создания множества продуктов, отражающих биофизические свойства земной поверхности и атмосферы.

Однако, как и Landsat, MODIS имеет свои ограничения. Пространственное разрешение MODIS (250 м – 1 км, в зависимости от спектральной полосы) ниже, чем у Landsat, что делает его менее подходящим для детального анализа отдельных деревьев или малых участков леса. Кроме того, данные MODIS также подвержены влиянию облачности.

Несмотря на эти ограничения, MODIS используется в научных исследованиях оценки первичной продуктивности (GPP) по данным MODIS. Однако, точность измерения брутто-продуктивности, особенно для сложных и обширных лесных экосистем, ограничена большими неопределенностями в процессе моделирования [6]. Для точного количественного определения лесного производства, помимо алгоритма, необходимо улучшить качество различных входных данных.

Выбор спутника зависит от конкретных целей и характера исследования. Sentinel-2 подходит для детального мониторинга, Landsat – для долгосрочного анализа, а MODIS - для обширного масштабирования. Прирост лесного насаждения вдоль линейных энергетических коридоров может быть наилучшим образом оценен при комбинированном использовании данных от различных спутников, обеспечивая комплексный и всесторонний анализ изменений в растительности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pompa-García M. et al. Inter and intra-annual links between climate, tree growth and NDVI: improving the resolution of drought proxies in conifer forests //International Journal of Biometeorology. – 2021. – Т. 65. – №. 12. – С. 2111-2121
2. Holtgrave A. K. et al. Comparing Sentinel-1 and-2 data and indices for agricultural land use monitoring //Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 18. – С. 2919.
3. Roberg T., Schmitt M. A Globally Applicable Method for NDVI Estimation from Sentinel-1 SAR Backscatter Using a Deep Neural Network and the SEN12TP Dataset //PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. – 2023. – С. 1-18.
4. Hu Y. et al. Estimating Forest stock volume in Hunan Province, China, by integrating in situ plot data, Sentinel-2 images, and linear and machine learning regression models //Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 1. – С. 186.
5. Liping C., Yujun S., Saeed S. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China //PloS one. – 2018. – Т. 13. – №. 7. – С. e0200493.

6. Tang X. et al. A comprehensive assessment of MODIS-derived GPP for forest ecosystems using the site-level FLUXNET database // *Environmental Earth Sciences*. – 2015. – Т. 74. – С. 5907-5918.

7. Хвостиков С. А., Барталев С. А., Жарко В. О. Метод оценки продуктивности и возраста лесных насаждений на основе временного ряда дистанционно измеренных запасов стволовой древесины // *Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. – 2020. – С. 375-375.

8. Патент № 2714705 С1 Российская Федерация, МПК А01G 23/00. Способ восстановления леса : № 2019115418 : заявл. 20.05.2019 : опубл. 19.02.2020 / А. И. Новиков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова". – EDN GZDLVJ.

9. Патент № 2712516 С1 Российская Федерация, МПК А01С 7/04, А01С 7/08, В64D 1/16. Устройство для аэросева семян : № 2019115601 : заявл. 21.05.2019 : опубл. 29.01.2020 / С. С. Морковина, Н. Г. Вовченко, А. И. Новиков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова". – EDN RQFUYD.

10. Соколов, С. В. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве / С. В. Соколов, А. И. Новиков // *Лесотехнический журнал*. – 2017. – Т. 7, № 4(28). – С. 190-205. – DOI 10.12737/article\_5a3d040dc79c79.94513194. – EDN YNMJRV.

11. Новикова, Т. П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для малого сельскохозяйственного предприятия / Т. П. Новикова, Т. В. Новикова, А. И. Новиков // *Моделирование систем и процессов*. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 53-58. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58. – EDN QDCYJV.

12. Новиков, А. И. Некоторые технологические особенности сортировальных устройств и тенденции их развития // *Лес и молодежь ВГЛТА - 2000 г.* – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – Т. 2. – С. 53-60. – EDN SNISIT.

13. Новиков, А. И. О новых способах сортирования лесных семян хвойных пород // *Леса Евразии в третьем тысячелетии : Материалы Международной конференции*. – М.: МГУЛ, 2001. – Т. 2. – С. 90-91. – EDN RXIQQJ.