

## ГЕОЛОГИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья  
УДК 630\*43(571.62)

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ МНОГОЛЕТНИХ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

В.А. Глаголев<sup>1</sup>, А.М. Зубарева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Приамурский университет имени Шолом-Алейхема,

ул. Широкая 70А, г. Биробиджан, 679015,

e-mail: [glagolev-jar@yandex.ru](mailto:glagolev-jar@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1424-552X>;

<sup>2</sup>Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,

ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,

e-mail: [anna-doroshenko@yandex.ru](mailto:anna-doroshenko@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7254-198X>

*В данном исследовании проведена обработка данных спутникового снимков MODIS для выявления территории с высокой пожарной опасностью за 2016 г. с учетом характеристик растительности в 2016–2017 гг. Для оценки биоразнообразия территории и ущерба от пожаров растительности предложен алгоритм пространственно-временного анализа распределения пожаров растительности с учётом влияния их на трансформацию растительной территории Дальнего Востока России. Алгоритм обработки включает наложение на территорию исследования сети операционно-территориальных единиц; получение фрагментов изображения со спутников для территории исследования и преобразование спутникового снимка в единицы заданного размера с переносом атрибутивных данных за многолетний период; формирование векторных слоев индивидуальных пожаров растительности по точечному размещению или по их площади и определение вложенности индивидуальных пожаров в операционно-территориальных единицах и дополнение атрибутивных данных о состоянии растительности, на которых пожары возникали. Материалами исследования послужили ежегодные сведения о растительности и ежедневные данные о местоположении пожаров растительности на основе спутниковых снимков MODIS, спектрорадиометра Terra и Aqua Land Cover Modeling Grid Version 6. В ходе анализа данных установлено 88 вариантов трансформации состояния растительности при наличии от 1 до 11 пожаров. В 8604 случаях изменения структуры и качества флоры вызваны антропогенным фактором. В 40 вариантах трансформация не зависела от пожаров. Максимальная трансформация фиксируется в классах растительного покрова: мелколиственные и широколиственные леса, лесостепи, степи, луга и пашни. Большинство случаев трансформации растительности в операционно-территориальных единицах (от 30 до 70%) фиксируется при переходе от лесостепи в степи.*

**Ключевые слова:** растительность, пожары, данные дистанционного зондирования Земли, индекс вегетации, варианты моделирования.

**Образец цитирования:** Глаголев В.А., Зубарева А.М. Оценка состояния растительности на основе многолетних данных спутникового мониторинга // Региональные проблемы. 2023. Т. 26, № 4. С. 71–76. DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-4-71-76.

#### Введение

Оперативность прогноза появления пожаров растительности и моделирования их распространения на территории лесного фонда играет важную роль при определении пространственно-временного объема работ для ликвидации и оценки ущерба от лесных пожаров в короткий промежуток времени. Реализация современных

моделей и методик оценки пожарной опасности основана на использовании многомерных (много-слойных) разнотипных баз данных спутникового мониторинга, позволяющих детально описывать состояние участков растительности. Пожарная опасность территории определяется комплексом достаточно хорошо изученных факторов [3, 6]; системы прогноза возникновения пожаров разрабо-

таны во многих странах [4]. Значительно меньшее количество работ посвящено исследованию характеристик растительности [7]. Необходимы знания о сравнительной оценке территорий для оптимизации распределения средств пожаротушения для ежегодной оценки деятельности оперативных отделений и участковых лесничеств по борьбе с лесными пожарами, а также для долгосрочного прогнозирования пожарной опасности растительности вследствие изменения климата.

Состояние и динамика изменчивости лесов имеют большое значение для Дальнего Востока России в связи с их значительным вкладом в экономику и экологию региона. Территория Дальнего Востока России отличается высокой пожарной опасностью и горимостью лесов [1, 2]. Наличие периодически повторяющихся засушливых периодов, обилие растительных горючих материалов с высокими пирофизическими свойствами, горный рельеф, низкая доступность некоторых территорий и климатические особенности определяют высокую предрасположенность данной территории к возникновению пожаров, значительную скорость их распространения и трудность ликвидации. Это в свою очередь подчеркивает значимость анализа условий формирования пожароопасного состояния растительности.

#### **Методика определения состояния растительности**

В работе предложен алгоритм пространственно-временного анализа распределения пожаров растительности и показано их влияние на трансформацию растительной территории Дальнего Востока России на примере спутниковых наблюдений MODIS за 2016 г. Оценка воздействия пожаров растительности на территорию выполнялась на основе данных о пожарах за 2016 г. За единицу оценки выбрана операционно-территориальная единица (ОТЕ) с разрешением 0,05° градусной сети (5,5 км на 3 км) в проекции координат WSG 84. На территории всего Дальневосточного региона построена электронная карта распределения данных ОТЕ.

Материалами исследования служат ежегодные сведения о растительности и ежедневные данные о местоположении пожаров растительности на основе спутниковых снимков MODIS, которые обеспечивают агрегированные электронные карты пространственно-временного распределения растительности спектрорадиометра Terra и Aqua Land Cover Modeling Grid Version 6 [5]. Эталонным годом состояния растительности был выбран 2016 г., а результаты трансформации фиксирова-

лись в 2017 г. Фиксация типов растительности доступна на сайте агентства НАСА (<https://landsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>), содержит 16 классов: вечнозеленые хвойные леса (1), вечнозеленые лиственные леса (2), мелколиственные леса (3), широколиственные леса (4) и лесостепи (8); степи (9); луга (10); пашни (12); селитебные и промышленные земли (13); пашни и луга (14); снег и лед (15); пустыни и разреженная растительность (16). В исследовании сконцентрировано внимание на 3, 4, 8, 9, 10, 12 классах, так как в них наиболее часто фиксируется максимальная трансформация растительности.

Пожарная опасность определялась по местоположению индивидуальных пожаров растительности в 2016 г. на основе сведений Глобального атласа лесных пожаров (<https://daac.ornl.gov>) [2], который представляется собой набор данных повседневной динамики отдельных пожаров: время и место возгорания, периметр и площадь, продолжительность, ежедневное расширение, длина линии огня, скорость и направление распространения. Характеристики индивидуальных пожаров растительности получены на основе алгоритма Глобального пожарного атласа и расчетной информации о дате горения с разрешением 500 м продукта MCD64A1, атлас содержит данные около 13,3 миллионов записей о пожарах по всему миру, из них 170 тыс. сосредоточены на территории Дальнего Востока России.

Обработка данных выполнялась по следующему алгоритму:

1. Наложение на территорию исследования регулярной сети в виде операционно-территориальных единиц площадью 16,6 км<sup>2</sup>: 5,5км\*3 км;
2. Получение фрагментов спутниковых снимков для территории исследования [4];
3. Преобразование спутникового снимка в векторный формат с полиномиальными объектами (патчи);
4. Декомпозиция патчей в операционно-территориальные единицы заданного размера с переносом атрибутивных данных за многолетний период [7];
5. Формирование векторных слоев индивидуальных пожаров растительности по точечному размещению или по их площади;
6. Определение вложенности индивидуальных пожаров в операционно-территориальных единицах и дополнение атрибутивных данных о растительности, на которых они возникли;
7. Выполнение агрегирующих SQL – запросов к атрибутивным данным векторных слоев.

## Результаты

Для определения трансформации растительности в результате пожаров необходимо изучить горимость субъектов Федерации на территории Дальневосточного региона (табл. 1). Наибольшее количество возгораний растительности на единицу площади (на 100 тыс. га субъекта) наблюдалось в Забайкальском крае (20,82) и Амурской области (17,52) в 2003 г. и Еврейской автономной области (41,42) в 2009 г.

На рис. 1а представлен фрагмент карты Дальнего Востока с изображением распределения индивидуальных пожаров в ОТЕ. Далее на рис. 1б

представлен фрагмент карты Дальнего Востока, где изображено распределение видов земного покрова. Анализируя два фрагмента, можно заключить, что на представленной территории в основном возгоранию подвержены степи, широколиственные леса и пашни (рис. 1б).

Используя вышеизложенный алгоритм обработки атрибутивных данных (483 503 элементов выборки) с информацией о пожарах, находящихся в ОТЕ, получены следующие результаты (табл. 2). В 2016 г. на Дальнем Востоке количество ОТЕ с индивидуальными пожарами составляло 11 837 (2,4% от общего числа ОТЕ в ЕАО), трансформа-

Таблица 1  
Характеристики пожароопасных сезонов Дальнего Востока России (фрагмент), 2003–2016 гг.  
Table 1  
Characteristics of fire-threatening seasons at the Russian Far East (fragment), 2003–2016

№	Характеристики	Субъекты Дальнего Востока России					
		Еврейская автономная область	Амурская область	Приморский край	Забайкальский край	Республика Бурятия	Хабаровский край
1	Площадь субъекта (100 тыс. га)	36,03	360,11	163,56	438,26	344,13	786,46
2	Относительное количество пожаров растительности (на 100 тыс. га)	25,72	7,45	7,04	6,27	3,03	1,81
3	Относительная площадь пожаров (на 100 тыс. га)	10 626,74	3525,67	1863,34	3306,73	1771,98	769,44

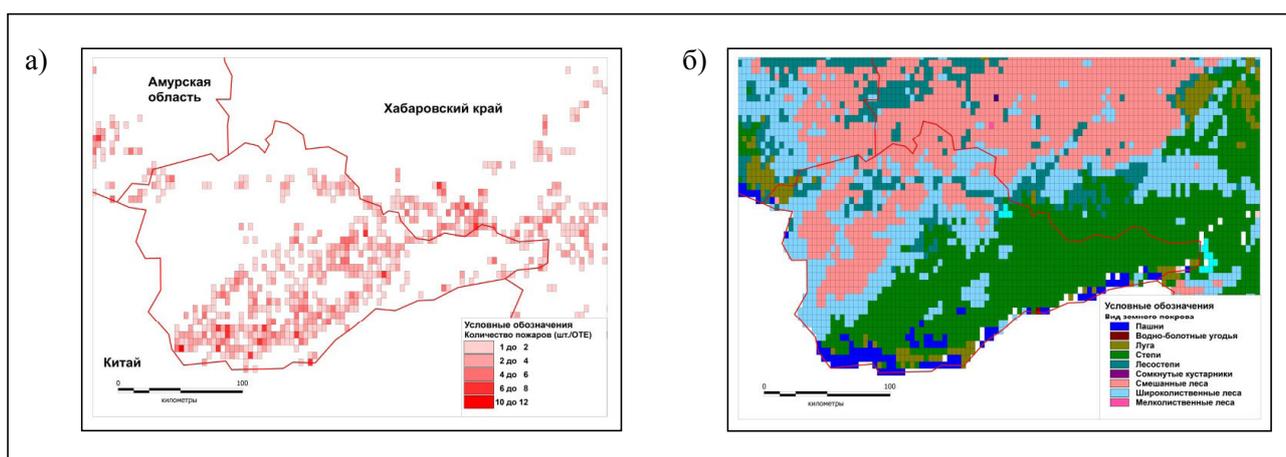


Рис. 1. Фрагмент карты Дальнего Востока: распределение точек пожаров растительности в ОТЕ(а) и распределение земного покрова в ОТЕ(б), 2016 г.

Fig. Fragment of the Far East map: distribution of vegetation fire points in OTE(a) and distribution of land cover in OTE(b), 2016

ция растительности зафиксирована в 20 441 ОТЕ (4,2%).

Всего зафиксировано 128 вариантов трансформации растительности, наиболее значимые: изменения от 7 класса (разреженные кустарники) до 9 класса (степи) (3485 ОТЕ); от 8 класса (лесостепи) до 9 (степи) (3361 ОТЕ); от 7 (разреженные кустарники) до 10 класса (луга) (1714 ОТЕ); от 9 (степи) до 7 (разреженные кустарники) (1047 ОТЕ); от 3 (мелколиственные леса) до 8 класса (лесостепи) (917 ОТЕ); от 8 класса (лесостепи) до 3 (мелколиственные леса) (906 ОТЕ); от 10 класса (луга) до 7 (разреженные кустарники) (876 ОТЕ); от 9 (степи) до 8 (лесостепи) (848 ОТЕ); от 10 класса (луга) до 9 (степи) (564 ОТЕ).

Фиксация количества индивидуальных пожаров растительности позволила детально выделить взаимосвязь случаев возгорания растительности и ее трансформации на территории выгоревшего участка. Установлено 88 вариантов трансформации при наличии от 1 до 11 пожаров.

В 8604 случаях (1,7%) изменения структуры и качества флоры вызваны не пирологическим фактором, а предположительно вырубками леса горнодобывающими разработками и строительством коммуникаций в виде газопровода и дорог.

В 40 вариантах трансформация не зависела от пожаров.

Большинство случаев трансформации растительности в ОТЕ (от 30 до 70%) фиксируется при переходе от лесостепи (8 класс) в степи (9 класс). Наблюдаются случаи обратной трансформации, например, от 8 к 4 классу, что требует исторического уточнения класса растительности за предыдущие годы, такие случаи зафиксированы на территории Еврейской автономной области (8-5, 8-4, 9-5). Это может быть связано с некорректным выделением границ территорий с определённым видом земного покрова (рис. 1б), а также неточным определением границ горельников по космическим снимкам.

Например, при сравнении модификаций ОТЕ в Еврейской автономной области с наличием индивидуальных пожаров растительности наблюдается трансформация в половине случаев, при этом имеют место смежные области до 8 ОТЕ. Модификация растительности в 70% случаев происходит на горимой территории, что в значительной степени влияет на её трансформацию.

Таким образом, предложенный алгоритм пространственно-временного анализа распределения индивидуальных пожаров растительности на

Таблица 2

Распределения индивидуальных пожаров растительности и количество трансформаций ОТЕ на территории Дальнего Востока России (фрагмент)

Table 2

Distribution of individual vegetation fires and the number of OTE transformations in the Russian Far East (fragment)

Количество индивидуальных пожаров в ОТЕ	Количество вариантов трансформаций	Количество ОТЕ без трансформации	Общее количество ОТЕ с трансформацией	Варианты трансформации с наибольшим количеством индивидуальных пожаров
1	34	3253	229	<b>8 - 9; 10 - 9; 10 - 12;</b>
2	26	1248	98	<b>8 - 9; 10 - 12; 9 - 10;</b>
3	14	402	57	<b>8 - 9; 10 - 12; 4 - 9</b>
4	12	229	23	<b>8 - 9; 10 - 12; 8 - 4</b>
5	3	100	10	<b>10 - 9; 3 - 9; 8 - 9</b>
6	2	36	3	<b>8 - 9; 9 - 12</b>
7	0	17	0	Нет трансформации
8	0	4	0	Нет трансформации
9	1	0	1	<b>8 - 9</b>
10	0	1	0	Нет трансформации
11	0	1	0	Нет трансформации

Примечание. 3 – мелколиственные леса; 4 – широколиственные леса; 8 – лесостепи; 9 – степи; 10 – луга; 12 – пашни

территории Дальнего Востока России имеет практическую значимость, особенно при разработке комплексного показателя оценки напряженности пожароопасных сезонов, методик оценки ущерба, формирования противопожарных рекомендаций и мероприятий при дистанционном мониторинге территории.

Проведение оценки трансформации территории в ходе пожаров растительности позволяет спрогнозировать смену одного типа растительности на другой и определить в будущем предполагаемую площадь лесного фонда субъектов Федерации, что будет способствовать сбалансированному распределению сил и средств для усовершенствования деятельности природоохранных ведомств.

**Исследование выполнено за счет средств гранта в форме субсидии в целях реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (Соглашение № 075-15-2023-495 от 25.04.2023 г.).**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шешуков М.А. Горимость лесов Дальнего Востока / М.А. Шешуков, Е.В. Брусова // Северо-Восточная Азия: вклад в глобальный лесопожарный цикл. Хабаровск: Изд-во Центра глобального мониторинга природных пожаров, 2006. С. 164–180.
2. Andela N. Global Fire Atlas with Characteristics of Individual Fires, 2003-2016 / N. Andela, D.C. Morton, L. Giglio, J.T. Randerson // ORNL DAAC. 2019. URL: [https://daac.ornl.gov/CMS/guides/CMS\\_Global\\_Fire\\_Atlas.html](https://daac.ornl.gov/CMS/guides/CMS_Global_Fire_Atlas.html) (дата обращения: 03.08.2023).
3. Friedl M.A. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets / M.A. Friedl, D. Sulla-Menashe, B. Tan et al. // *Remote sensing of Environment*. 2010. Vol. 114, N 1. P. 168–182.
4. Ghamisi P. Multisource and multitemporal data fusion in remote sensing: A comprehensive review of the state of the art / P. Ghamisi, R. Behnood, N. Yokoya et al. // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2019. Vol. 7, N 1. P. 6–39.
5. Glagolev V.A., Zubareva A.M. GFS model-based short-term fire weather forecasting // *Proceedings of SPIE*. 2018. Vol. 10833. P. 1083373.
6. Saah D. Primitives as building blocks for constructing land cover maps / D. Saah, K. Tenneson, A. Poortinga et al. // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020. Vol. 85. P. 101979.
7. White C.T. Automated Land Cover Change Detection Through Rapid Updates of Digital Surface Models / C.T. White, A. Petrasova, W. Reckling et al. // *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. 42. P. 155–159.

#### REFERENCES

1. Sheshukov M.A. Burning of the Far East Forests, M.A. Sheshukov, E.V. Brusova, in *Severo-Vostochnaya Aziya: vklad v global'nyi lesopozharnyi tsikl* (Northeast Asia: Contribution to the Global Forest Fire Cycle). Khabarovsk: Global Fire Monitoring Center, 2006, pp. 164–180. (In Russ.).
2. Andela N. Global Fire Atlas with Characteristics of Individual Fires, 2003-2016, N. Andela, D.C. Morton, L. Giglio, J.T. Randerson. *ORNL DAAC*, 2019. Available at: [https://daac.ornl.gov/CMS/guides/CMS\\_Global\\_Fire\\_Atlas.html](https://daac.ornl.gov/CMS/guides/CMS_Global_Fire_Atlas.html) (accessed: 03.08.2023).
3. Friedl M.A. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets, M.A. Friedl, D. Sulla-Menashe, B. Tan et al. *Remote sensing of Environment*, 2010, vol. 114, no. 1, pp. 168–182.
4. Ghamisi P. Multisource and multitemporal data fusion in remote sensing: A comprehensive review of the state of the art, P. Ghamisi, R. Behnood, N. Yokoya et al. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 6–39.
5. Glagolev V.A., Zubareva A.M. GFS model-based short-term fire weather forecasting. *Proceedings of SPIE*, 2018, vol. 10833, pp. 1083373.
6. Saah D. Primitives as building blocks for constructing land cover maps, D. Saah, K. Tenneson, A. Poortinga et al. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, vol. 85, pp. 101979.
7. White C.T. Automated Land Cover Change Detection Through Rapid Updates of Digital Surface Models, C.T. White, A. Petrasova, W. Reckling et al. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2020, vol. 42, pp. 155–159.

## VEGETATION CONDITION ASSESSMENT BASED ON LONG-TERM SATELLITE MONITORING DATA

V.A. Glagolev, A.M. Zubareva

*In this study, MODIS satellite imagery data was processed for 2016 to identify areas with high fire danger, taking into account vegetation characteristics in 2016–2017. To assess the biodiversity of the territory and damage from vegetation fires, it is proposed an algorithm for the spatial and temporal analysis of vegetation fires distribution, taking into account their influence on vegetation transformation in the Russian Far East. The processing algorithm includes: the network imposition on the study area; obtaining satellite image fragments for the territory and converting the satellite image into operational-territorial units of a given size, with the transfer of attribute data over a multi-year period; forming vector layers of individual vegetation fires on the base of point placement or fires area, determining the nesting of individual fires in operational-territorial units and adding data on the condition of vegetation they arose on. The materials of the study contained both annual and daily vegetation data on the location of vegetation fires, based on MODIS satellite images, Terra spectroradiometer and Aqua Land Cover Modeling Grid Version 6. In the course of data analysis, 88 variants of vegetation condition transformation were found in the presence of from 1 to 11 fires. In 8604 cases, changes in the flora structure and quality were caused by an anthropogenic factor. In 40 variants, the transformation did not depend on fires. The maximum transformation is recorded in the following vegetation cover classes: small-leaved and broad-leaved forests, forest-steppes, steppes, meadows and arable land. Most cases of vegetation transformation in operational-territorial units (from 30 to 70%) are recorded when forest- steppe is turning to steppe.*

**Keywords:** *vegetation, fires, Earth remote sensing data, vegetation index, modeling options.*

**Reference:** Glagolev V.A. , Zubareva A.M. Vegetation condition assessment based on long-term satellite monitoring data. *Regional'nye problemy*, 2023, vol. 26, no. 4, pp. 71–76. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-4-71-76.

*Поступила в редакцию 30.10.2023*

*Принята к публикации 18.12.2023*