

Научная статья

УДК 504.064

DOI: 10.15372/KhUR2025648

EDN: HHCKKL

Спутниковый мониторинг экологического состояния нефтедобывающих территорий Томской области

Т. О. ПЕРЕМИТИНА [✉], И. Г. ЯЩЕНКО

Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

E-mail: peremitinat@mail.ru[✉], sric@ipc.tsc.ru

Аннотация

Проанализирована динамика состояния растительного покрова территорий Томской области, на которых расположены углеводородные месторождения: Лугинецкое, Катильгинское, Оленье, Ломовое. В качестве фоновой выбрана территория Оглатского заказника. На основе спутниковых данных Terra/MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) рассчитаны средние значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) в период с 26 июня по 11 июля 2012–2022 гг. Выявлено, что для растительности исследуемых территорий месторождений (Лугинецкое, Катильгинское, Оленье) наблюдается одинаковая тенденция изменения значений индекса: максимальные показатели индекса NDVI были зафиксированы в 2016 г., а минимальные – в 2012 г. Для территории Ломового месторождения максимальное значение индекса установлено в 2022 г., а минимальное – в 2012 г. В целом для всех исследуемых территорий отмечен положительный тренд значений индекса NDVI, в среднем его значения увеличились на 9.7 % с 2012 по 2022 гг., что свидетельствует об устойчивом (неугнетенном) состоянии растительного покрова исследуемых территорий.

Ключевые слова: спутниковые данные, вегетационный индекс, геоинформационные системы, растительный покров

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР № 121031500046-7).

Для цитирования: Перемитина Т. О., Ященко И. Г. Спутниковый мониторинг экологического состояния нефтедобывающих территорий Томской области // Химия в интересах устойчивого развития. 2025. Т. 33, № 2. С. 243–248. DOI: 10.15372/KhUR2025648. EDN: HHCKKL.

Original article

Satellite monitoring of the environmental condition of oil-producing areas in the Tomsk Region

T. O. PEREMITINA [✉], I. G. YASHCHENKO

Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

E-mail: peremitinat@mail.ru[✉], sric@ipc.tsc.ru

Abstract

The dynamics of the state of vegetation cover has been analysed in the hydrocarbon deposits of the Tomsk region, specifically Luginetskoye, Katylginskoye, Olenye, Lomovoye. The territory of the Oglatsky Nature Reserve was chosen as the background area. Based on satellite data from Terra/MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) calculated average values of the vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) in the period from June 26 to July 11, 2012–2022. It was found that for the vegetation of the studied territories (Luginetskoye, Katylginskoye, Olenye) there is a similar trend of change in the index values: the maximum indicators of the NDVI index were recorded in 2016, and the minimum – in 2012. For the Lomovoye deposit territory, the maximum value of the index was established in 2022, and the minimum – in 2012. Overall, for all studied territories, a positive trend in NDVI values is noted, on average, its values increased by 9.7% from 2012 to 2022, which indicates a stable (unimpaired) state of the vegetation cover of the studied territories.

Spectroradiometer), the average values of the NDVI vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index) were calculated from June, 26 to July, 11 for the years 2012 to 2022. It has been found that the same trend in NDVI values is observed for the vegetation in the studied oilfields Luginetskoye, Katylginskoye, and Olenye: the maximum NDVI values were recorded in 2016, while the minimum values occurred in 2012. For the territory of the Lomovoye oilfield, the highest NDVI value was established in 2022, with the lowest in 2012. Overall, a positive trend in NDVI values was noted across all studied areas, with an average increase by 9.7 % from 2012 to 2022, indicating a stable (not suppressed) state of the vegetation cover of these territories.

Keywords: satellite data, vegetation index, geoinformation systems, vegetation cover

ВВЕДЕНИЕ

Регулярные мониторинговые наблюдения за состоянием растительного покрова на нефтегазодобывающих территориях служат важным инструментом в оценке воздействия нефтедобычи на экосистемы. В задачи мониторинга входит получение оценочных показателей экологической ситуации труднодоступных территорий добычи нефти и газа Томской области, которые довольно сложно систематически исследовать и анализировать наземными методами наблюдений. Целесообразнее для оценки состояния окружающей среды применять современные методы достоверной и актуальной (своевременной) информации – мультиспектральные космические снимки, данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). Методы дистанционного зондирования основаны на измерении отраженного объектами электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах. Это позволяет распознавать различные типы растительности, районы загрязнений, предприятия нефтедобычи, водные и другие объекты на Земле и, следовательно, анализировать ландшафтные изменения территорий.

Цель данной работы – оценка экологического состояния труднодоступных территорий углеводородных месторождений Томской области за многолетний период. В качестве индикатора экологической ситуации на исследуемых территориях принят растительный покров, так как он в полной степени и достоверно отражает процессы воздействия антропогенных и природных факторов на окружающую среду [1].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объект исследования

Объектом исследования выбран растительный покров территорий углеводородных месторождений Томской области. Рельеф Томской области – заболоченное плоское пространство

с отметками не выше 200 м над уровнем моря, левобережье региона занято крупнейшим в мире Васюганским болотом (53 тыс. км²). Болота покрывают до 40 % площади области, речные долины – пятую часть. Преобладающими рельефообразующими процессами являются заболачивание и торфообразование. Леса, площадь которых составляет 28.6 млн га (58 % территории), представляют одно из главных природных богатств области. Хвойные насаждения (сосна, ель, пихта, лиственница, кедр) занимают порядка 60 % лесопокрытой площади [2].

На рис. 1 представлена карта расположения углеводородных месторождений и фоновой территории (Оглатский заказник), составленная с применением сервиса ВЕГА-Science [3–6].

Исследуемая территория углеводородных месторождений Томской области характеризуется труднодоступностью из-за заболоченного рельефа и обширных болот, что обуславливает необходимость применения спутникового мониторинга для оценки состояния растительного покрова и экологической ситуации в регионе.

В Томской области известно более 130 месторождений углеводородного сырья, площадь перспективной нефтегазоносной территории превышает 224 тыс. км², что составляет ~70 % площади области. Длительное время Томская область занимает одно из ведущих мест по добыче углеводородного сырья в Западной Сибири, поэтому регулярное отслеживание экологического состояния нефтедобывающих месторождений необходимо для своевременного выявления негативных изменений и минимизации воздействия на окружающую среду.

Система MODIS и расчет вегетационного индекса

Спутниковые снимки среднего разрешения сочетают в себе преимущества свободного (бесплатного) доступа к полученным данным и приемлемое пространственное разрешение для обнаружения изменений состояния растительного покрова. Выявлено, что перечисленным выше

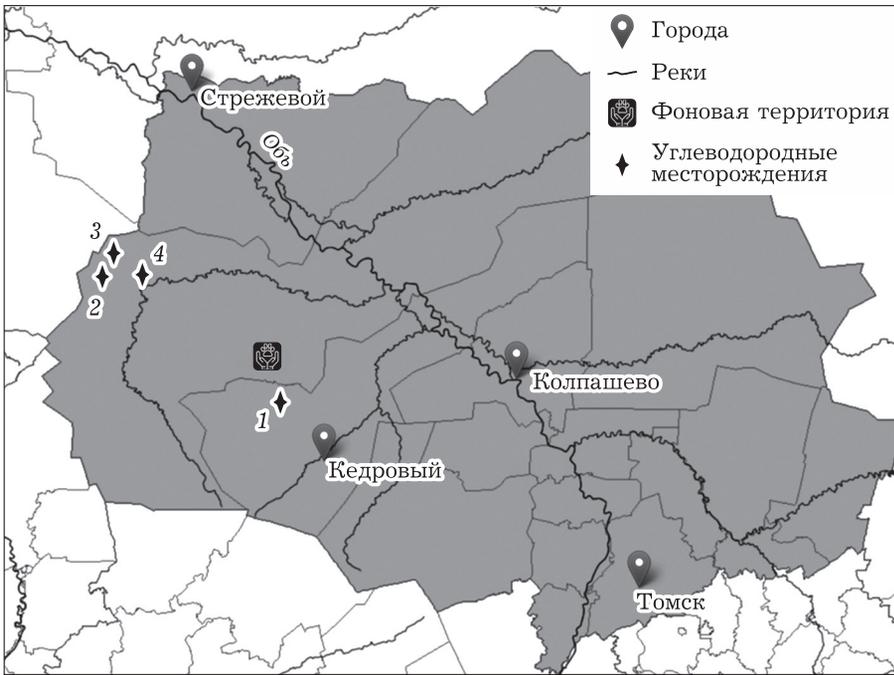


Рис. 1. Карта исследуемых месторождений и фоновой территории Томской области: 1 – Лугинецкое, 2 – Катильгинское, 3 – Оленье, 4 – Ломовое.

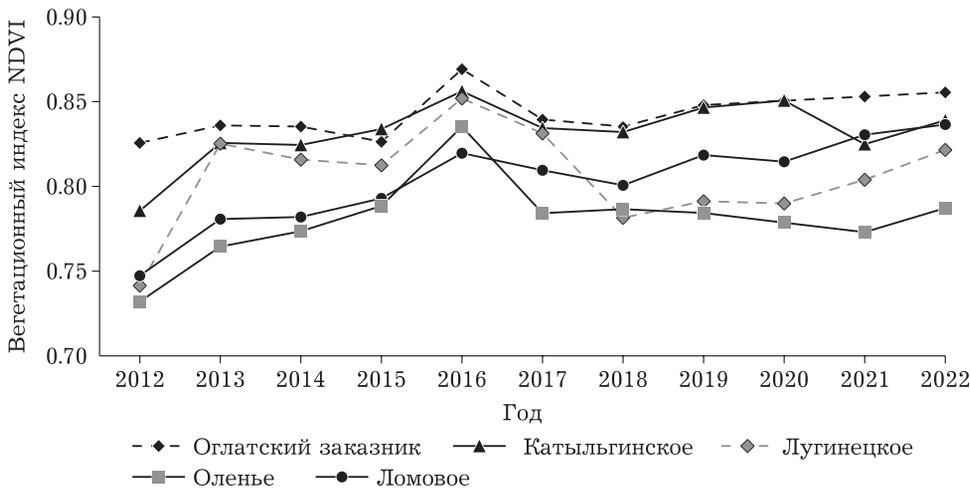


Рис. 2. Изменение средних значений индекса NDVI в период 2012–2022 гг.

требованиям к спутниковым данным удовлетворяют данные спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на борту спутников Terra и Aqua [6]. Тематические продукты MODIS созданы зарубежными специалистами по результатам обработки космических снимков, полученных со спутника Terra сканером MODIS и цифровых моделей рельефа. Материалы съемки MODIS применяются для широкого спектра исследований атмосферы, водных объектов и

суши. Эти данные по всей поверхности Земли поступают со спутника Terra каждые двое суток в 36 спектральных зонах (в диапазоне 0.405–14.385 мкм с разрешением 250–1000 м), что обеспечивает моделирование в глобальном и региональном масштабе. Предназначение системы MODIS состоит в сборе данных для калиброванных глобальных интерактивных моделей Земли как единой системы. В будущем предполагается использование интерактивных моделей для прогнозирования глобальных измене-

ний окружающей природной среды в связи с антропогенным влиянием. Стоит отметить, что материалы MODIS находятся в свободном доступе и позволяют оперативно оценивать состояние окружающей среды [7].

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых “индексных” изображений [8]. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта и расчета по этим значениям спектрального индекса объекта, строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов.

Для мониторинга состояния растительного покрова широко используется нормализованный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [8]:

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red})$$

где ρ_{nir} – спектральная яркость поверхности в ближнем инфракрасном диапазоне, ρ_{red} – в красном диапазоне.

Для расчета средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI исследуемых территорий в работе использовано одиннадцать 16-дневных композитов MOD13Q1 (193-й композит с датами съемок 26 июня–11 июля) с пространственным разрешением 250 м за период 2012–2022 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средствами геоинформационной системы ArcGis 10.8 были созданы полигональные векторные слои исследуемых территорий углеводородных месторождений и фоновой территории. Далее выполнен расчет средних значений индекса NDVI для этих территорий по спутниковым данным MOD13Q1 (2012–2022 гг.). Расчет проведен с применением инструмента “зональная статистика” путем наложения векторных моделей полигонов территории Оглатского заказника и территорий углеводородных месторождений на разновременные спутниковые снимки MOD13Q1 с информацией об индексе NDVI. На рис. 2 представлена динамика средних значений нормализованного вегетационного индекса

NDVI для фоновой территории Оглатского заказника и четырех территорий исследуемых углеводородных месторождений за период с 26 июня по 11 июля 2012–2022 гг.

Согласно полученным данным (см. рис. 2), максимальное значение вегетационного индекса NDVI (0.87) наблюдается в 2016 г. для растительного покрова фоновой территории Оглатского заказника, что свидетельствует о благоприятных экологических условиях и отсутствии значительных антропогенных воздействий на экосистему заказника. Наименьшие значения индекса NDVI установлены для растительности на территории Оленьего (0.73) и Лугинецкого (0.74) месторождений в 2012 г. Известно, что в 2012 г. на территории Лугинецкого месторождения количество поломок оборудования увеличилось с 106 до 144 по сравнению с 2011 г. По данным АО “Томскнефть” ВНК, в 2012 г. во время аварий из трубопроводов вытекло 8.7 т нефти и 7.8 т высокоминерализованной жидкости. Общая площадь загрязненных земель составила 2 га [9]. Установлено, что наибольшие по площади загрязнения в 2012 г. выявлены в пределах Лугинецкого месторождения (0.53 га), что и объясняет такое низкое значение индекса NDVI (см. рис. 2).

Далее рассмотрена динамика значений NDVI для каждого из четырех исследуемых месторождений (рис. 3) за тот же временной период (26 июня–11 июля с 2012 по 2022 гг.). В целом, для территорий всех исследуемых углеводородных месторождений тенденция изменения значений индекса однотипна – минимальные значения в 2012 г., высокие значения в 2016 г. и постоянное увеличение значений индекса NDVI к 2022 г.

Полученные значения индекса NDVI за исследуемый период позволяют утверждать, что в общем для всех исследуемых территорий наблюдается положительная динамика изменения значений индекса, что свидетельствует об устойчивом (неугнетенном) состоянии растительного покрова исследуемых территорий.

Расчеты показывают, что за время мониторинга средние значения индекса для каждого месторождения увеличились от 7.7 % (Катыльгинское месторождение), 8.2 % (Оленье месторождение), 10.8 % (Лугинецкое месторождение) до 12 % (Ломовое месторождение). Среднее увеличение в целом для всех четырех месторождений составило 9.7 %. Полученные данные можно

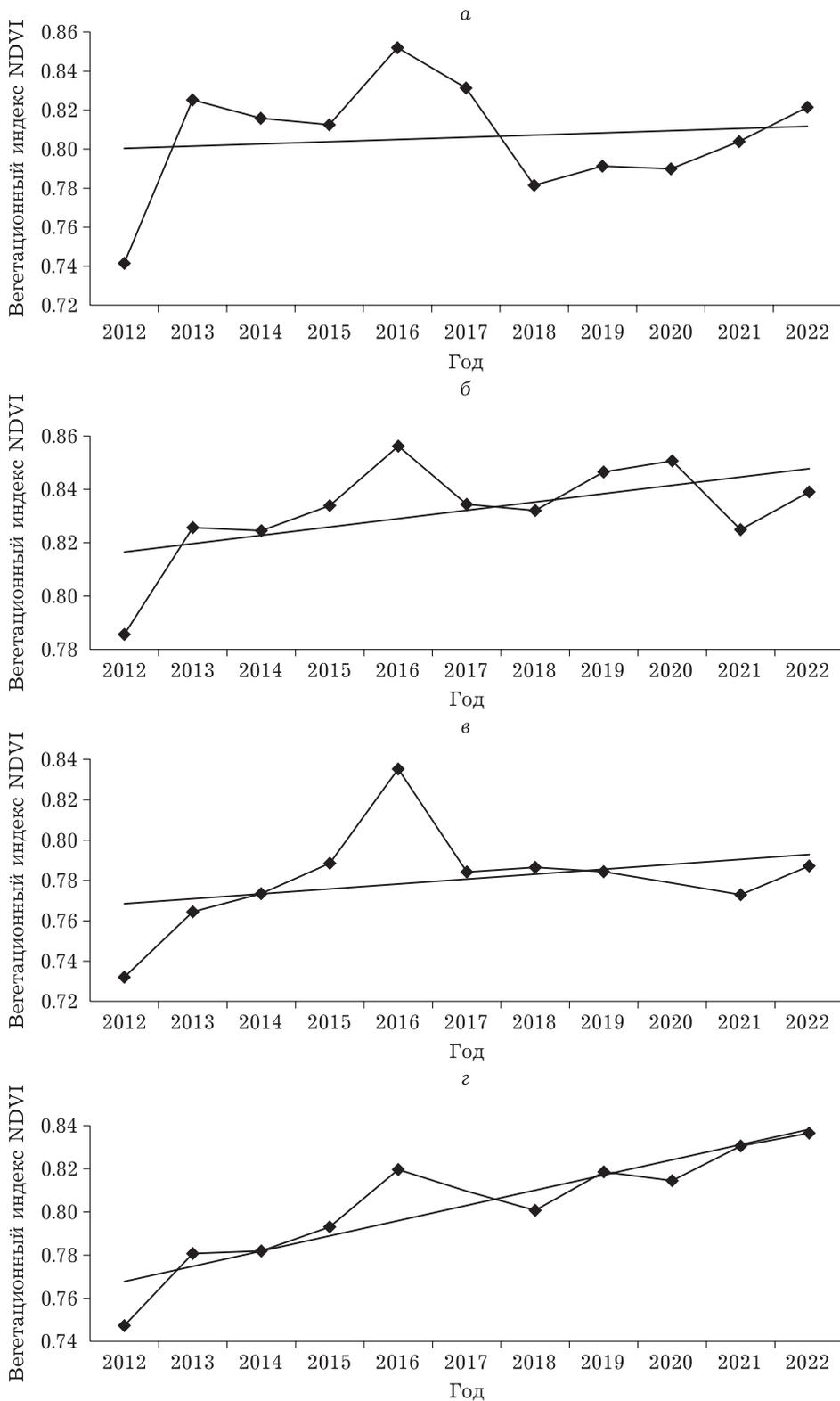


Рис. 3. Динамика средних значений индекса NDVI на исследуемых месторождениях: Лугинецкое (а), Катълыгинское (б), Оленьё (в) и Ломовое (г).

косвенно связать с тем фактом, что в 2022 г. доля выбросов загрязняющих веществ нефтегазовой отрасли снизилась на 10 % [9] по сравне-

нию с уровнем выбросов в 2012 г. Кроме того, отмечается явная корреляция между снижением выбросов и повышением индекса NDVI.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С применением спутниковых данных среднего разрешения MODIS проведена диагностика состояния растительного покрова за период 2012–2022 гг. фоновой территории Оглатского заказника и территорий четырех углеводородных месторождений Томской области – Лугинецкого, Катыльгинского, Оленьего и Ломового.

Выявлен положительный тренд значений индекса NDVI. Установлено, что в среднем значение вегетационного индекса NDVI увеличилось на 9.7 % с 2012 по 2022 гг. Рост значений вегетационного индекса указывает на устойчивость растительности к антропогенным воздействиям, что может быть связано с улучшением экологической ситуации. Несмотря на полученные положительные результаты диагностики состояния растительного покрова нефтегазодобывающих территорий необходимо отметить важность продолжения работы в этом направлении. Контроль за состоянием растительной экосистемы позволит более эффективно управлять природными ресурсами и принимать меры по охране окружающей среды в условиях активной разработки углеводородных месторождений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Родимцев С. А., Павловская Н. Е., Вершинин С. В., Зелюкин В. И., Горькова И. В. Моделирование условий вегетации с использованием отклонений текущих значений NDVI

Поступила в редакцию 05.11.2024
Принята к публикации 20.11.2024

- от среднеголетних показателей // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 3. С. 591–603.
2. Доклад “Об экологической ситуации в Томской области в 2023 году” // ОГБУ “Облкомприрода”: сайт. URL: https://ogbu.green.tsuru/?page_id=1456 (дата обращения: 08.10.2024).
 3. ВЕГА-Science: уникальный инструмент научного анализа данных спутниковых наблюдений: сайт. URL: <http://sci-vega.ru> (дата обращения: 10.10.2024).
 4. Барталев С. А., Ершов Д. В., Лупян Е. А., Толпин В. А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 1. С. 49–56.
 5. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Кашницкий А. В., Балашов И. В., Барталев С. А., Бриль А. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Константинова А. М., Кобец Д. А., Мазуров А. А., Марченков В. В., Матвеев А. М., Миклашевич Т. С., Плотников Д. Е., Радченко М. В., Стыщенко Ф. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А., Хвостиков С. А., Ховратович Т. С. Система “Vega-Science”: особенности построения, основные возможности и опыт использования // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 6. С. 9–31.
 6. MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: website. URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 10.10.2024).
 7. MODIS: MOD13Q1. URL: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/allData/61/MYD13Q1/2023/> (дата обращения: 10.10.2024).
 8. Gillespie T., Ostermann-Kelm S., Dong C., Willis K. S., Okin G. S., MacDonald G. M. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California // Ecol. Indic. 2018. Vol. 88. P. 485–494.
 9. Экологический мониторинг. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2012 году. Томск: Дельтаплан, 2013. 172 с. URL: http://priroda.tomsk.gov.ru/upload/File/doklad_2012_web_1_.pdf (дата обращения: 10.10.2024).