

УДК 504.064

Оценка динамики растительности территорий нефтегазоносных месторождений Томской области с применением спутниковых данных

Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко*

*Институт химии нефти СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 4*

Поступила в редакцию 18.01.2019 г.

Рассмотрено применение спутниковых данных для количественной оценки состояния растительного покрова труднодоступных территорий нефтегазоносных месторождений Томской обл. По спутниковым данным рассчитаны временные ряды значений индекса EVI, который является модифицированным NDVI с пониженной чувствительностью к влиянию атмосферных условий. Для анализа использованы данные спектрорадиометра MODIS с пространственным разрешением 250 м за период с 2007 по 2017 г. Проведен расчет средних значений индекса EVI для территорий пяти углеводородных месторождений Томской обл.: Арчинское, Шингинское, Западно-Останинское, Южно-Табаганское и Казанское.

Ключевые слова: спутниковые данные, вегетационный индекс, геоинформационные системы, окружающая среда, нефтегазоносная провинция; satellite data, vegetation index, geoinformation systems, environment, oil province.

Введение

Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция (НПП) — одна из крупнейших в мире. За всю историю нефтяной промышленности в России было добыто более 21 млрд т нефти, в том числе в Западно-Сибирской НПП — 11,5 млрд т; она обеспечивает 54,5% добычи нефти в стране [1]. Но большая площадь Западно-Сибирской НПП относится к так называемым труднодоступным территориям, нефтепроводы проходят по заболоченным или залесенным северным районам. Это является серьезной проблемой для получения исходных наземных данных об экологическом состоянии окружающей среды.

Для оценки экологического состояния труднодоступных территорий перспективно и экономически оправданно использование методики выявления экологических проблем на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). Алгоритмы количественной оценки состояния растительности, основанные на расчете вегетационных индексов, позволяют оценивать динамику растительного покрова на протяжении всего вегетационного периода и делать выводы о его текущем состоянии на труднодоступных территориях Западно-Сибирской НПП. Широкое применение данных ДДЗ обусловлено их пространственным охватом, временным и спектральным разрешением изображений, актуальностью (своевременной доступностью) для исследователей и возможностью бесплатного использования [2].

Вследствие вышеперечисленных особенностей исследуемых территорий актуальна оценка динамики растительного покрова нефтегазоносных месторождений Томской обл. с использованием свободно распространяемых спутниковых данных.

Цель настоящей статьи — изучение динамики изменения значений индекса EVI (Enhanced Vegetation Index) для оценки состояния растительного покрова углеводородных месторождений Томской обл.: Арчинского, Шингинского, Казанского, Южно-Табаганского и Западно-Останинского за вегетационные периоды с 2007 по 2017 г.

Применение спутниковых данных

Спутниковые снимки среднего разрешения сочетают в себе преимущества свободного доступа к данным и приемлемое для обнаружения изменений состояние растительного покрова пространственное разрешение. Выявлено, что вышеперечисленным требованиям удовлетворяют данные спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на борту спутников Terra и Aqua. Материалы съемки MODIS поступают с Terra каждые два дня в 36 спектральных зонах (в диапазоне 0,405–14,385 мкм). NASA разработало ряд продуктов MODIS, ориентированных на мониторинг и оценку состояния растительности на основе следующих корректировок и алгоритмов расчета: анализ орбитальных и механических различий между датчиками MODIS на борту Aqua/Terra; алгоритмы предварительной обработки, используемые для создания безоблачных мозаик (оригинальный

* Татьяна Олеговна Перемитина (pto@ipc.tsc.ru); Ирина Германовна Яценко (sric@ipc.tsc.ru).

алгоритм MODIS); алгоритмы постобработки, применяемые для оптимизации значений индекса растительности, полученных из временных последовательностей изображений.

В настоящей работе для оценки динамики растительности на территории нефтегазоносных месторождений Томской обл. использованы данные продукта MOD13Q1 с пространственным разрешением 250 м (съемка с 13 по 28 июля 2017 г.): 16-дневные композиты значений индекса NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) и 16-дневные композиты значений улучшенного вегетационного индекса (EVI). Алгоритмы обработки NASA выбирают наилучшее доступное значение пикселя из всех спутниковых изображений за 16-дневный период с использованием следующих критериев: низкая облачность, низкий угол обзора и самое высокое значение NDVI/EVI.

В задачах мониторинга состояния растительного покрова широко используется нормализованный вегетационный индекс NDVI [3–5]:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}},$$

где ρ_{nir} — спектральная яркость поверхности в ближнем инфракрасном диапазоне; ρ_{red} — в красном диапазоне.

В ряде ранее опубликованных работ [6–8] изложены методические вопросы мониторинга состояния растительного покрова нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири с применением значений нормализованного вегетационного индекса NDVI и продуктов MOD13Q1. Одним из недостатков использования NDVI для большинства задач является необходимость сравнения полученных результатов с предварительно собранными данными по фоновым территориям (эталонам) для учета сезонных эколого-климатических показателей как самого снимка, так и фоновых территорий на момент сбора данных [9].

В настоящей статье использован улучшенный вегетационный индекс (EVI), имеющий преимущества перед NDVI в задачах мониторинга изменения

растительности, поскольку влияние почвы и атмосферы в значениях этого индекса минимизировано [10].

Значения EVI взяты из продукта MOD13Q1, где усовершенствованный индекс выражается как

$$EVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{(\rho_{nir} + C_1)(\rho_{red} - C_2)(\rho_{blue} + L)}(1 + L).$$

Здесь ρ_{blue} — спектральная яркость поверхности в синем диапазоне; L — поправочный коэффициент, учитывающий влияние почвы; C_1, C_2 — коэффициенты аэрозольной устойчивости, использующие синий канал для коррекции аэрозольного влияния в красном канале. Диапазон значений индекса от -1 до 1 ; для зеленой растительности индекс принимает значения от $0,2$ до $0,8$ [11, 12].

Материалы и методы

В Научно-исследовательском информационном центре Института химии нефти СО РАН сформирована коллекция спутниковых данных MODIS для территории Томской обл. за 2000–2018 гг., находящаяся в свободном доступе, что позволяет быстро и своевременно оценить состояние окружающей среды [13, 14]. Также для проверки корректности расчетов в анализ включена фоновая территория государственного природного заказника областного значения «Оглатский» (Огладский заказник) Каргасокского р-на Томской обл. Площадь заказника составляет 100 тыс. га, доминируют смешанные леса. Средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 созданы полигональные векторные слои территорий месторождений и фоновой территории (рис. 1).

Для анализа динамики значений индекса EVI были сформированы продукты MOD13Q1 для 209-го календарного дня в году (28 июля), т.е. в результате 16-дневного усреднения дистанционных данных (13–28 июля) для каждого года. Расчет индекса EVI проведен с 2007 по 2017 г. за исключением 2015 г. из-за низкого качества данных.



Рис. 1. Исследуемые территории

Результаты исследования

Расчет значений вегетационного индекса EVI выполнен наложением векторных моделей полигонов территорий углеводородных месторождений и фоновой территории на разновременные спутниковые снимки MOD13Q1. В табл. 1 приведены рассчитанные средние значения этого индекса для каждой исследуемой территории за 10 лет. Максимальное значение (выделено полужирным) индекса соответствует состоянию растительности фоновой территории Оглатского заказника в 2009 г., что свидетельствует о корректности полученных значений.

Таблица 1

Значения усовершенствованного вегетационного индекса

Год	Месторождение					Оглатский заказник
	Арчинское	Шингинское	Западно-Останинское	Южно-Табаганское	Казанское	
2007	0,4109	0,3222	0,3227	0,4169	0,4570	0,4576
2008	0,4215	0,3796	0,3076	0,4589	0,4688	0,4479
2009	0,4104	0,3554	0,3544	0,4834	0,4294	0,5429
2010	0,4185	0,4450	0,3058	0,4453	0,4541	0,4863
2011	0,3796	0,3473	0,2810	0,4210	0,4194	0,4254
2012	0,5266	0,3495	0,3095	0,5417	0,4676	0,4668
2013	0,4469	0,3578	0,3572	0,4439	0,4683	0,5376
2014	0,4909	0,3906	0,2989	0,4859	0,4804	0,4671
2016	0,4762	0,3613	0,3181	0,5228	0,4606	0,4305
2017	0,4667	0,4014	0,3557	0,4944	0,4667	0,4884

На рис. 2 представлена динамика изменения средних значений индекса EVI, расчет которых для каждой территории проводился с помощью инструмента «Зональная статистика» (Zonal Statistics) геоинформационной системы ArcGis 10.2.2.

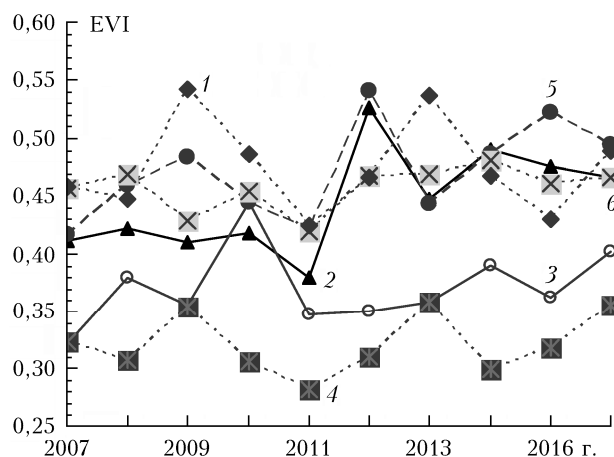


Рис. 2. Динамика изменения средних значений индекса EVI: Оглатский заказник (1); Арчинское (2), Шингинское (3), Западно-Останинское (4), Южно-Табаганское (5), Казанское месторождения (6)

Из рисунка видно, что за 10-летний период Западно-Останинскому месторождению соответствуют самые низкие значения индекса EVI, а в 2011 г.

значение индекса является минимальным (0,2810) из всего массива данных табл. 1. В большей мере этот факт можно объяснить местоположением Западно-Останинского месторождения и особенностями его ландшафта (рис. 3): территория здесь сильно заболочена и имеет множество мелких озер, что способствует снижению EVI.



Рис. 3. Западно-Останинское месторождение

Наиболее высокие значения индекса EVI соответствуют Южно-Табаганскому месторождению (рис. 2), причем они превышают некоторые значения индекса фоновой территории Оглатского заказника в 2008, 2012, 2016 и 2017 г.

Установлено, что для большинства исследуемых территорий тенденция изменения EVI однотипна: максимальные значения в 2009 и 2012 г., минимальные – в 2011 г. В целом можно заключить, что наблюдаются положительные тенденции увеличения значения индекса EVI указанных месторождений за 10-летний период мониторинговых исследований. Для более детального анализа полученных результатов значения EVI были представлены в виде линейных трендов для Западно-Останинского и Южно-Табаганского месторождений (рис. 4).

Максимальные значения EVI в 2012 г. с большой вероятностью связаны с высокими средними температурами для июля этого года, как и минимальные значения индекса в 2011 г. могут быть объяснены самыми низкими средними температурами в июле (табл. 2).

Влияние температуры (табл. 2) на значения индекса EVI подтверждается результатами корреляционного анализа. Степень корреляционной связи среднемесячной температуры воздуха и значений EVI указанных месторождений изменяется в пределах 0,27–0,51 и оценивается как средняя. Влияние относительной влажности на значения индекса имеет более сложный характер. Для Шингинского месторождения установлена слабая прямая зависимость (коэффициент корреляции 0,13), а для остальных месторождений – обратная; коэффициент корреляции изменяется от –0,25 до –0,49. Анализ корреляции значения индекса EVI и параметров «число

дней с осадками» и «атмосферные осадки» показал очень слабую связь между ними.

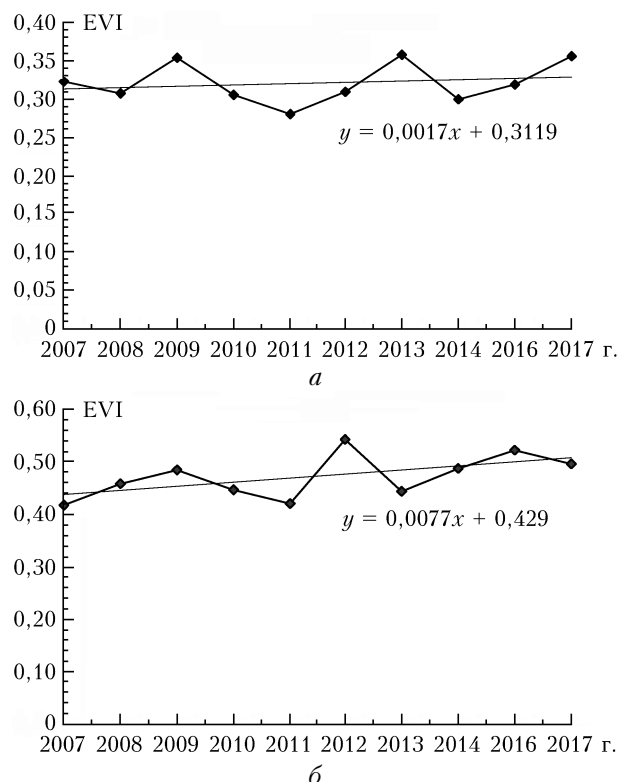


Рис. 4. Динамика изменения средних значений индекса EVI на Западно-Останинском (а) и Южно-Табганском месторождениях (б)

Таблица 2

Некоторые метеорологические параметры по данным метеостанции Пудино [15]

Год	Среднемесячная температура, °С	Число дней с осадками	Атмосферные осадки, мм	Влажность воздуха, %
2007	19,6	10	82,6	75,9
2008	19,0	12	90,0	75,3
2009	17,7	14	—	77,2
2010	15,9	10	79,3	75,9
2011	14,5	10	96,4	76,8
2012	20,9	3	28,6	71,8
2013	18,7	10	38,9	71,3
2014	16,7	12	83,6	76,1
2016	19,0	10	189,7	76,8
2017	16,7	13	132,2	75,5

Также стоит отметить вклад законодательной политики РФ в улучшение экологического состояния нефтегазодобывающих территорий. В 2012 г. Правительством РФ принято Постановление № 1148 «Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа». Например, согласно представленной ОАО «Томскнефть» ВНК информации, в этой компании каж-

дый год увеличивается размер затрат на природоохранные мероприятия [16].

Заключение

С применением спутниковых данных выполнена диагностика состояния растительности труднодоступных территорий Западно-Сибирской НПП без проведения дорогостоящих исследований на местности. Анализ динамики изменения средних значений усовершенствованного индекса EVI позволил определить минимальные и максимальные его значения для исследуемых территорий, а также выявить тенденции увеличения значений за 10 лет, что свидетельствует о процессе восстановления растительного покрова, его неугнетенном состоянии и улучшении экологической обстановки нефтедобывающих территорий. Установлена зависимость значений EVI от метеоданных (температуры и относительной влажности), но связь имеет сложный и неустойчивый характер, что требует продолжения мониторинговых исследований.

1. *Конторович А.Э., Эдер Л.В.* Новая парадигма стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 5. С. 8–17.
2. *Zhang M., Friedl M., Schaaf C., Strahler A., Hodges J., Gao F., Reed B., Huete A.* Monitoring vegetation phenology using MODIS // Remote Sens. Environ. 2003. V. 84, iss. 3. P. 471–475.
3. *Gillespie T., Ostermann-Kelm S., Dong C., Willis K., Okin G., MacDonald G.* Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California Ecological Indicators // Elsevier. 2018. V. 88. P. 485–494.
4. *Варламова Е.В., Соловьев В.С.* Исследование вариаций индекса NDVI тундровой и таежной зон Восточной Сибири на примере территории Якутии // Оптика атмосфер. и океана. 2014. Т. 27, № 10. С. 891–894; *Varlamova E.V., Solovyev V.S.* Study of NDVI variations in tundra and taiga areas of Eastern Siberia (Yakutia) // Atmos. Ocean. Opt. 2015. V. 28, N 1. P. 64–67.
5. *Лагутин А.А., Суторихин И.А., Синицын В.В., Жуков А.П., Шмаков И.А.* Мониторинг крупных промышленных центров юга Западной Сибири с использованием данных MODIS и наземных наблюдений // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 1. С. 60–66.
6. *Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Комплексный подход к оценке влияния антропогенных и природных факторов на окружающую среду нефтегазодобывающих территорий // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 544–547.
7. *Перемитина Т.О., Яценко И.Г., Днепровская В.П.* Оценка индекса NDVI и содержания углеводов в болотных водах на нефтедобывающих территориях Западной Сибири // Вода: химия и экология. 2017. № 9.
8. *Днепровская В.П., Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Мониторинг состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий Томской области по спутниковым данным // Оптика атмосфер. и океана. 2018. Т. 31, № 1. С. 57–62.
9. *Воронина П.В., Мамаш Е.А.* Классификация тематических задач мониторинга сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования

- MODIS // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 3. С. 76–102.
10. Пушкин А.А., Сидельник Н.Я., Ковалевский С.В., Ильюшник М.А., Мельник П.Г. Спектральные индексы для оценки пожарной опасности лесов по материалам космической съемки с использованием ГИС-технологий в условиях рационального природопользования // Биоэкономика и экобиополитика. 2016. № 1. С. 163–170.
 11. Лобанов Г.В., Зайцева А.Ф., Полякова А.В., Тришкин Б.В., Михеев К.Ю. Пространственно-временная динамика вегетационного индекса EVI (Enhanced Vegetation Index) в разных типах ландшафтов Брянской области // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. 2012. № 3. С. 46–52.
 12. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геомадика. 2009. № 3. С. 28–32.
 13. *Официальный сайт радиометра MODIS: описание системы TERRA и сканера MODIS* [Электронный ресурс]. URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 10.01.2019).
 14. MODIS Overview: MODIS Vegetation Indices [Electronic resource]. URL: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis (last access: 10.01.2019).
 15. *Специализированные массивы для климатических исследований: Выборка данных обеспечивается Web-технологией «Аисори – Удаленный доступ к ЯОД-архивам»* [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/> (дата обращения: 10.01.2019).
 16. *Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2012 году: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. ОГБУ «Облкомприрода». Томск: Дельтаплан, 2013. 172 с.*

T.O. Peremitina, I.G. Yashchenko. Evaluation of the vegetation dynamics of oil and gas deposits in Tomsk region with the use of satellite data.

The use of satellite data for quantitative assessment of the status of remote areas of oil and gas fields of the Tomsk region is considered. Time series of Enhanced Vegetation Index (EVI), which is a modified Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with reduced sensitivity to the influence of atmospheric conditions, were calculated using MODIS data with a spatial resolution of 250 m for the period from 2007 to 2017. The average values of EVI were calculated for the territories of five hydrocarbon fields of the Tomsk region: Archinskoye, Shinginskoye, Zapadno-Ostaninskoe, Yuzhno-Tabaganskoye, and Kazanskoye.