

УДК 504.064

DOI: 10.15372/ChUR2020231

Анализ состояния растительного покрова нефтедобывающих комплексов Томской области

Т. О. ПЕРЕМИТИНА, И. Г. ЯЩЕНКО

*Институт химии нефти СО РАН,
Томск (Россия)**E-mail: pto@ipc.tsc.ru*

Аннотация

На территории Арчинского, Шингинского, Казанского, Южно-Табаганского и Западно-Останинского углеводородных месторождений Томской области исследовано состояние растительного покрова по спутниковым данным спектрорадиометра MODIS. Рассчитаны временные ряды значений усовершенствованного вегетационного индекса EVI (Enhanced Vegetation Index) за период с 2007 по 2019 г. Анализ динамики изменения средних значений EVI позволил определить его минимальные и максимальные значения для исследуемых территорий, а также выявить тренд увеличения его значений, что свидетельствует о хорошем (неугнетенном) состоянии растительности и улучшении экологической обстановки исследуемых территорий нефтедобывающих комплексов Томской области.

Ключевые слова: динамика растительности, спутниковые данные, вегетационный индекс, геоинформационные системы, месторождения нефти, окружающая среда

ВВЕДЕНИЕ

Томская область обладает огромными запасами природных ресурсов. Утвержденные запасы нефти составляют 633.8 млн т, газа – 333.1 млрд м³ [1]. Общая площадь земель лесного фонда области составляет 28 752.5 тыс. га (91 %), лесные массивы занимают более 60 %, а болота – более 30 % территории региона. Но большая площадь (85 %) Томской области относится к так называемым труднодоступным территориям. Например, нефтепроводы проходят по заболоченной или залесенной северной части, где труднопроходимость представляет серьезную проблему для получения данных об экологическом состоянии окружающей среды.

Перспективный и экономически оправданный подход к оценке экологического состояния труднодоступных территорий – применение методики выявления экологических проблем с использованием данных дистанционного зонди-

рования Земли (ДДЗ). Алгоритмы количественной оценки состояния растительности, основанные на расчете вегетационных индексов, позволяют проводить оценку динамики растительного покрова на протяжении всего вегетационного периода и делать выводы о текущем состоянии растительного покрова труднодоступных территорий [2, 3]. Применение ДДЗ обусловлено их пространственным охватом исследуемых территорий, временным и спектральным разрешением изображений, актуальностью (своевременной доступностью) для исследователей и возможностью их бесплатного использования.

Цель настоящей работы – оценка состояния растительного покрова углеводородных месторождений Томской области (Арчинского, Шингинского, Казанского, Южно-Табаганского и Западно-Останинского) за вегетационные периоды с 2007 по 2019 г. с использованием свободно распространяемых спутниковых данных.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Спутниковые снимки среднего разрешения сочетают такие преимущества, как свободный (бесплатный) доступ к данным и приемлемое для обнаружения изменений состояния растительного покрова пространственное разрешение. Выявлено, что перечисленным выше требованиям удовлетворяют данные спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на борту спутников Terra и Aqua. Материалы съемки MODIS поступают со спутника Terra каждые 2 сут в 36 спектральных зонах (в диапазоне 0.405–14.385 мкм). Национальным управлением США по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) разработан ряд продуктов MODIS, ориентированных на мониторинг и оценку состояния растительности. Эти продукты – результат применения перечисленных далее корректировок и алгоритмов расчета: анализа орбитальных и механических различий между датчиками MODIS на борту Aqua/Terra; алгоритмов предварительной обработки, используемых для создания безоблачных мозаик (оригинальный алгоритм MODIS); алгоритмов постобработки, которые используются для оптимизации значений индекса растительности, полученных из временных последовательностей изображений.

Для оценки динамики растительности на территории нефтегазоносных месторождений Томской области использованы продукты MOD13Q1 – композиты спутниковых изображений, которые рассчитаны для 16-дневного периода каждого года (в нашем исследовании с 2007 г.) и имеют пространственное разрешение 250 м. Алгоритмы обработки NASA выбирают наилучшее доступное значение пикселя из всех спутниковых изображений за 16-дневный период по следующим критериям: низкая облачность, низкий угол обзора и самое высокое значение вегетационных индексов.

В настоящей работе оценка состояний растительного покрова выполнена на основе данных продукта MOD13Q1: 16-дневных композитов значений нормализованного вегетационного индекса NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) и 16-дневных композитов значений усовершенствованного вегетационного индекса (EVI, Enhanced Vegetation Index).

Известно, что в задачах мониторинга состояния растительного покрова широко применяется индекс NDVI [3, 4]:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

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

В ранее опубликованных авторами работах [5, 6] изложены методические вопросы мониторинга состояния растительного покрова нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири с применением значений нормализованного вегетационного индекса NDVI, используя продукты MOD13Q1. Один из недостатков применения индекса NDVI заключается в необходимости (для большинства задач) сравнения полученных результатов с предварительно собранными данными фоновых территорий (эталонов), в которых должны учитываться сезонные эколого-климатические показатели как самого снимка, так и фоновых территорий на момент сбора данных. Особенно значимыми эти материалы становятся при расчетах продуктивности, запасов биомассы и прочих количественных показателей [7].

В настоящей работе использован индекс EVI, который имеет преимущества перед NDVI в задачах мониторинга изменения растительности, поскольку влияние почвы и атмосферы в его значениях минимизировано.

Данные о значениях индекса EVI взяты из продукта MOD13Q1, где усовершенствованный индекс EVI выражается как [8]

$$EVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{(\rho_{nir} + C_1)(\rho_{red} - C_2)(\rho_{blue} - L)} (1 + L) \quad (2)$$

где 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 EVI от –1 до 1; для зеленой растительности индекс принимает значения от 0.2 до 0.8.

Оценка состояния растительного покрова территорий углеводородных месторождений Томской области (Арчинское, Шингинское, Казанское, Южно-Табаганское и Западно-Останинское) за вегетационные периоды с 2007 по 2019 г. проведена с помощью значений индекса EVI.

В Научно-исследовательском информационном центре Института химии нефти СО РАН сформирована коллекция спутниковых данных MODIS для территории Томской области за пе-

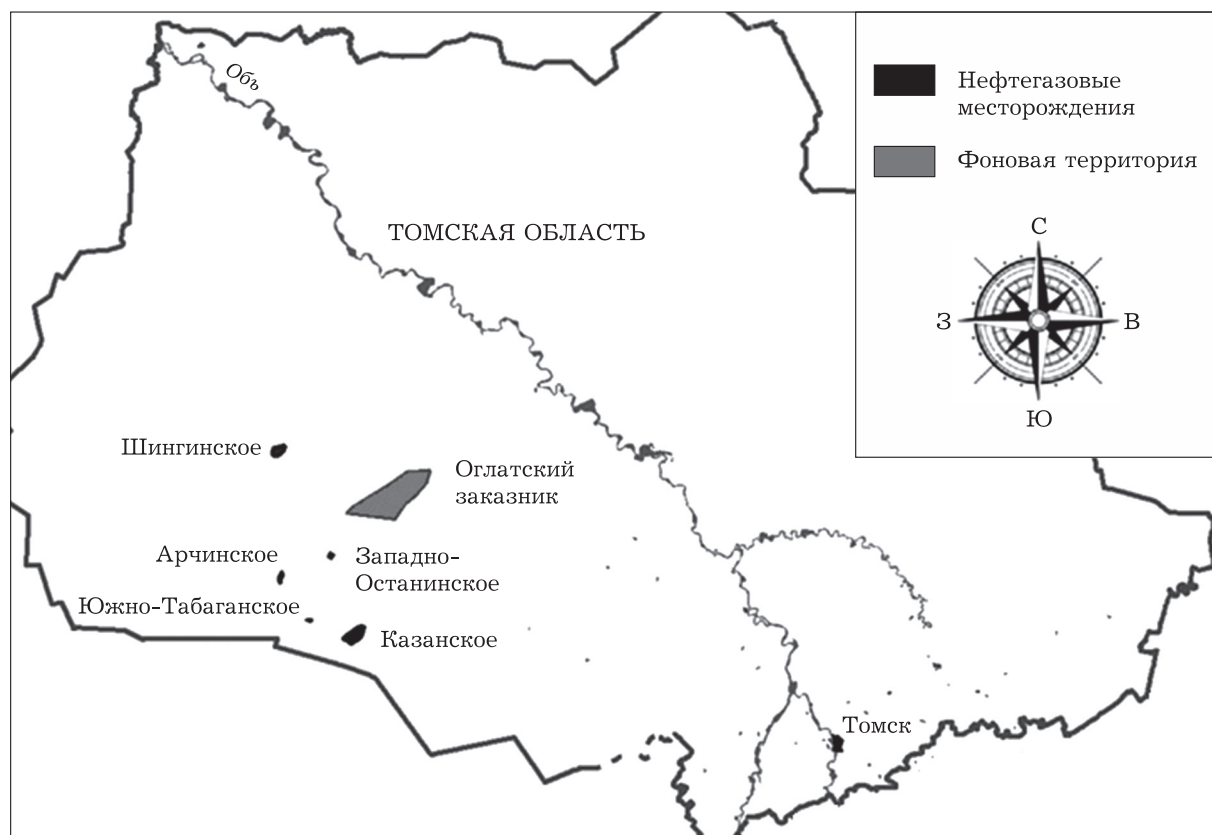


Рис. 1. Исследуемые территории Томской области.

риод 2000–2019 гг. Следует отметить, что спутниковые данные системы MODIS находятся в свободном доступе, что позволяет быстро и своевременно оценить состояние окружающей среды [9, 10]. Для проверки корректности расчетов в анализ включена в качестве фоновой территории Государственного природного заказника областного значения “Оглатский” (Оглатский заказник) Каргасокского района Томской области. Площадь заказника составляет 100 тыс. га, значимыми доминантами являются смешанные леса. Средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 созданы полигональные векторные слои территорий месторождений и фоновой территории. На рис. 1 показаны территории исследуемых нефтегазовых месторождений и фоновый участок.

Для анализа динамики значений индекса EVI были взяты спутниковые данные MOD13Q1 16-Day Vegetation Indices с пространственным разрешением 250 м за период с 13 июля по 28 июля каждого года. Расчет индекса EVI проведен за 12-летний период с 2007 по 2019 гг. за исключением данных 2015 г. из-за низкого качества спутниковых данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет значений индекса EVI выполнен наложением векторных моделей полигонов территорий углеводородных месторождений и фоновой территории на разновременные спутниковые снимки MOD13Q1 с информацией об индексе EVI. В табл. 1 приведены рассчитанные средние значения индекса EVI для каждой исследуемой территории за 12-летний период. Видно, что максимальное значение (выделено жирным шрифтом) вегетационного индекса EVI соответствует состоянию растительности в 2009 г. фоновой территории Оглатского заказника, что свидетельствует о корректности полученных значений индекса.

На рис. 2 представлена динамика изменения средних значений индекса EVI. Расчет средних значений для каждой территории проводился с помощью инструмента “Зональная статистика” (Zonal Statistics) геоинформационной системы ArcGis 10.2.2.

Можно заметить, что за 12-летний период Западно-Останинскому месторождению соответствуют самые низкие значения индекса EVI, а в 2011 г. значение индекса минимально (0.2810) из

ТАБЛИЦА 1

Значения усовершенствованного вегетационного индекса EVI

Год	Территории углеводородных месторождений Томской области					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
2018	0.4506	0.4112	0.3441	0.4759	0.5086	0.4815
2019	0.4539	0.4542	0.3665	0.4783	0.4915	0.4895

всего массива данных табл. 1. В большей мере этот факт можно объяснить местоположением Западно-Останинского месторождения и особенностями его ландшафта: территория сильно заболоченная, с множеством мелких озер, что существенно снижает значения индекса EVI.

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

Установлено, что для большинства исследуемых территорий тенденция изменения значений индекса EVI однотипна – высокие значения в 2009 и 2012 гг. и минимальные значения в 2011 г. В целом можно заключить, что наблюдаются положительные тенденции увеличения значения индекса EVI указанных месторождений за 12-летний период мониторинговых исследований. Для более детального анализа полученных результатов значения индекса EVI были представлены в виде линейных трендов для Западно-Останинского (рис. 3, а) и Южно-Табаганского (см. рис. 3, б) месторождений.

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

Влияние температуры на значения индекса EVI подтверждаются результатами корреляционного анализа. Степень корреляции между среднемесячной температурой воздуха и значениями EVI указанных месторождений изменяет-

ся в пределах 0.27–0.51 и оценивается как средняя. Влияние относительной влажности на значения индекса имеет более сложный характер.

Для Шингинского месторождения установлена обратная зависимость между среднемесячной температурой воздуха и значениями EVI (коэффициент корреляции = -0.46), а для остальных месторождений – прямая, значения коэффициента изменяются в диапазоне от 0.05 до 0.51. Корреляционный анализ значений индекса EVI с параметрами “число дней с осадка-

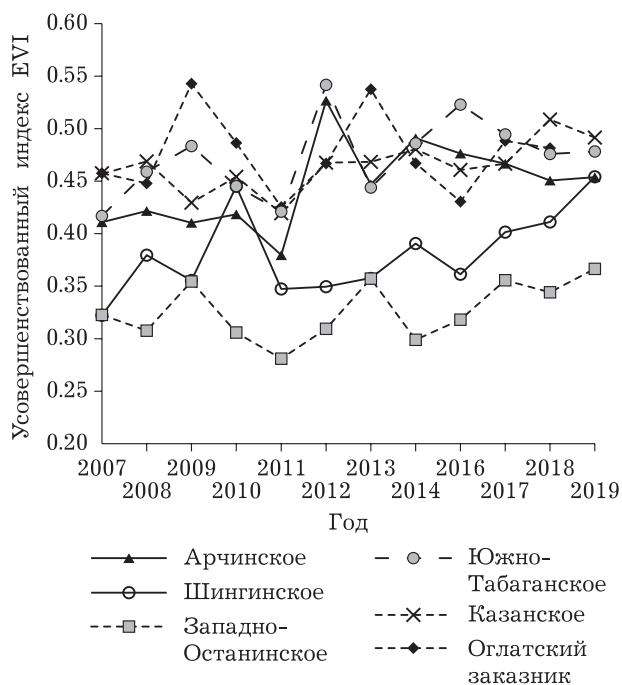


Рис. 2. Динамика изменений средних значений индекса EVI.

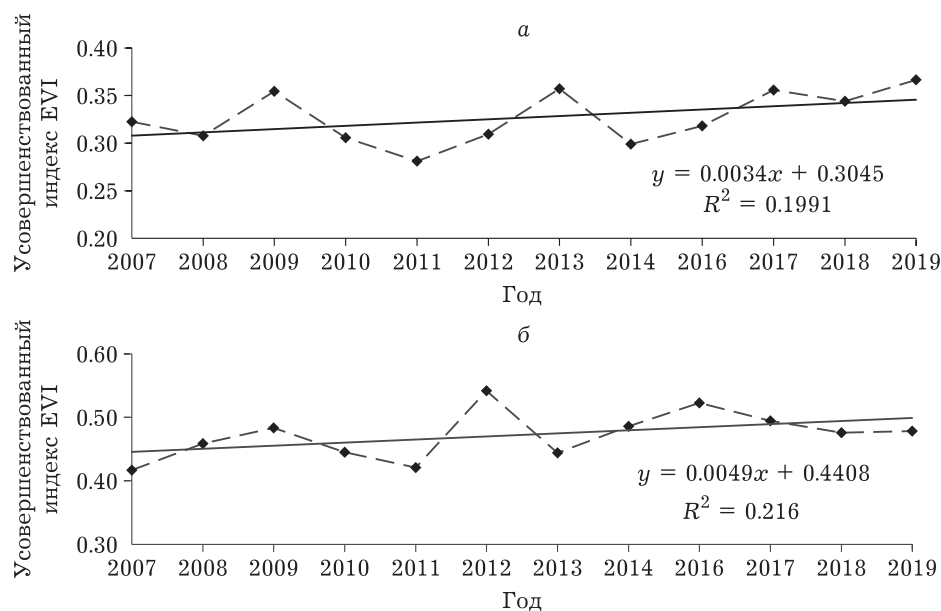


Рис. 3. Динамика изменений средних значений индекса EVI на Западно-Останинском (а) и Южно-Табаганском (б) месторождениях. Сплошная линия – линия линейного тренда, пунктирная линия соединяет средние значения индекса EVI.

ми” и “атмосферные осадки” показал несущественную (очень слабую) связь между данными.

Необходимо отметить, что законодательная политика РФ внесла вклад 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

каждый год растут затраты на природоохранные мероприятия [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С применением спутниковых данных проведена диагностика состояния растительности труднодоступных территорий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции без проведения дорогостоящих исследований на местности. На основании анализа динамики изменения средних значений усовершенствованного индекса EVI определены минимальные и максималь-

ТАБЛИЦА 2

Некоторые метеорологические параметры по данным метеостанции Пудино [11]

Год	Среднемесячная температура, °С	Число дней с осадками	Атмосферные осадки, мм	Относительная 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
2018	17.5	6	40.5	62.0

ные значения индекса для исследуемых территорий, а также выявлены тенденции увеличения его значений за 10-летний период, 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.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН (проект V.46.1.2), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Государственный доклад “О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2018 году” / гл. ред. Ю. В. Лунева. Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ “Облкомприрода”. Ижевск: ООО “Принт”, 2019. 144 с.
- 2 Narasimhana R., Stow D. Daily MODIS products for analyzing early season vegetation dynamics across the North Slope of Alaska // *Remote Sensing of Environment*. 2010. Vol. 114, No. 6. P. 1251–1262.
- 3 Варламова Е. В., Соловьев В. С. Исследование вариаций индекса NDVI тундровой и таежной зон Восточной Сибири на примере территории Якутии // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27, № 10. С. 891–894.
- 4 Beck P., Atzberger C., Hogda K., Johansen B., Skidmore A. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI // *Remote Sensing of Environment*. 2006. Vol. 100, No. 3. P. 321–334.
- 5 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 (111). P. 3–10.
- 6 Перемитина Т. О., Яценко И. Г. Дистанционный мониторинг экологического состояния нефтедобывающих территорий Западной Сибири // *Химия уст. разв.* 2019. Т. 27, № 1. С. 53–57.
- 7 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.
- 8 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 фундам. и приклад. исслед.* 2012. № 3. С. 46–52.
- 9 MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: MODIS Vegetation Index Products (NDVI and EVI). Overview [Electronic Resource]. URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php> (дата обращения: 05.06.2020).
- 10 MODIS Overview. MODIS Vegetation Indices [Электронный ресурс]. URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/> (дата обращения: 05.06.2020).
- 11 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: 08.11.2019).
- 12 Экологический мониторинг. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2012 году / Гл. ред. А. М. Адам. Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. ОГБУ “Облкомприрода”. Томск: Дельтаплан, 2013. 172 с.