



УДК 504.064

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

### VEGETATION STATUS ANALYSIS ON HYDROCARBON DEPOSITS OF WESTERN SIBERIA WITH SATELLITE DATA APPLICATION

**Перемитина Татьяна Олеговна**

научный сотрудник лаборатории «Научно-исследовательский информационный центр с музеем нефтей»,  
Институт химии нефти Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИХН СО РАН)  
pto@ipc.tsc.ru

**Ященко Ирина Германовна**

Кандидат геолого-минералогических наук  
Заведующая лабораторией «Научно-исследовательский информационный центр с музеем нефтей»,  
Институт химии нефти Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИХН СО РАН)  
sric@ipc.tsc.ru

**Аннотация.** В работе продемонстрирована возможность изучения динамики растительности труднодоступных нефтедобывающих территорий Западной Сибири с применением свободно распространяемых спутниковых снимков среднего пространственного разрешения MODIS. Пошагово изложен алгоритм обработки спутниковых данных средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 и проанализированы значения вегетационных индексов NDVI пяти территорий нефтяных и нефтегазовых месторождений Томской области: Лугинецкое, Оленье, Ломовое, Катильгинское и Западно-Катильгинское. Установлено, что для исследуемых территорий тенденция изменения значений индекса однотипна – высокие значения в 2016 г. и минимальные значения – в 2012 г. Анализ динамики изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI показал улучшение состояния растительного покрова с 2012 г. на всех исследуемых территориях.

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

**Peremitina Tatiana Olegovna**

Ph.D. in Technical Science,  
research associate,  
Institute of Petroleum Chemistry,  
Siberian Branch of  
the Russian Academy of Sciences  
pto@ipc.tsc.ru

**Yashchenko Irina Germanovna**

Ph.D. in Geology and Mineralogy,  
Head of the Laboratory,  
Institute of Petroleum Chemistry,  
Siberian Branch of  
the Russian Academy of Sciences  
sric@ipc.tsc.ru

**Annotation.** In the work, the possibility of studying the dynamics of vegetation in oil-producing areas of Western Siberia using free satellite imagery of the medium spatial resolution MODIS is demonstrated. The algorithm for processing satellite data by means of the geographic information system ArcGis is step by step and the values of vegetation indices NDVI of five territories of hydrocarbon deposits of Tomsk region are analyzed: Luginetskoye, Olenye, Lomovoye, Katylginskoye and Zapadno-Katylginskoye. It is established that for the study areas the trend of changing the values of the index is the same – high values in 2016 and minimum values in 2012. Analysis of the dynamics of changes in the average values of the normalized vegetation index NDVI showed an improvement in the state of vegetation cover from 2012 in all the study areas.

**Keywords:** vegetation dynamics, satellite data, vegetation index, geoinformation systems, oil fields, environment.

Уже более пятидесяти лет Россия является одним из крупнейших мировых лидеров по добыче и экспорту нефти. Согласно данным ежегодного статистического отчета международной организации стран – экспортёров нефти «Organization of the Petroleum Exporting Countries» (ОПЕК) в 2016 г. мировая добыча нефти увеличилась на 0,35 млн баррелей в день (б./д.) или на 0,5 % по сравнению с 2015 г. По данным за 2016 г. в тройку лидеров вошли следующие страны-производители нефти: Саудовская Аравия (10,46 млн б./д.), Россия (10,29 млн б./д.) и США (8,88 млн б./д.).

Западная Сибирь является наиболее развитым и богатым нефтью и газом регионом России. Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн расположен на территории Западно-Сибирской равнины, и охватывает такие российские регионы, как Новосибирская, Омская, Тюменская, Томская, Ханты-Мансий АО, Ямало-Ненецкий АО.

Третьим по значимости нефтедобывающим регионом России в Западной Сибири является Томская область, причем объем еще не разведанных нефтяных ресурсов, по последним оценкам (на основании геологического прогноза), превышает разведанные примерно в 1,8 раза и позволяет сделать вывод о том, что нефтедобыча в Томской области будет продолжаться еще много лет.

Государственные власти несут ответственность за мониторинг и обеспечение соблюдения природоохранного законодательства, разработку стратегий для энергетического сектора. Однако прива-



тизация нефтяного сектора передала ответственность за прошлые и текущие экологические и социальные воздействия нефтегазового сектора руководству российских и иностранных нефтяных компаний, эксплуатирующих месторождения.

В настоящее время при оценке состояния окружающей среды используют различные методы получения информации: наземные данные, данные аэросъемки и спутниковые данные. Однако большая площадь территории Западной Сибири относится к так называемым «труднодоступным территориям», где возникают трудности с наземными наблюдениями по экономическим соображениям [1–2]. Вследствие перечисленных выше особенностей исследуемых территорий актуально проанализировать возможность оценки состояния растительного покрова с использованием свободно распространяемых спутниковых данных.

Целью данной работы является изучение возможностей анализа и мониторинга состояния растительного покрова нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири, основанных на спутниковых снимках среднего пространственного разрешения, которые сочетают в себе преимущества свободного (бесплатного) доступа к данным и приемлемое для обнаружения изменений состояния растительного покрова пространственное разрешение.

Перечисленным выше требованиям к спутниковым данным удовлетворяют данные спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на борту спутников Terra и Aqua. Съемка ведется в 36 спектральных каналах в оптическом диапазоне спектра с разрешением от 250 до 1000 м. Два спектральных канала в красной и ближней инфракрасной зонах с пространственным разрешением 250 м [3]. Широкая полоса обзора обеспечивает возможность ретроспективного анализа состояния территории Томской области за период 2000–2016 гг. В данной работе использованы специализированные продукты MOD13Q1, содержащие значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), которые формируются раз 16 дней.

Расчет индекса NDVI основан разнице отражения в ближней инфракрасной области спектра отражения и в красной части электромагнитного спектра [4–5]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR – коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра; RED – коэффициент отражения в красной области спектра.

Территории с фотосинтетически активной растительностью поглощают значительно больше излучения в красной части электромагнитного спектра, чем в районах без растительности или с фотосинтетически неактивной растительностью. Это связано с пигментами в листьях, хвое и др. В отличие от поглощения ближнего инфракрасного излучения является низкой для обоих типов поверхности. Таким образом, разница в отражающей способности позволяет выделить территории без растительного покрова, территории с фотосинтетически неактивной растительностью, или территории с фотосинтетически активной растительностью. Для интерпретации рассчитанных значений используется дискретная шкала, где значения NDVI меняются в диапазоне от – 1 до 1. Для зеленой высокой и средней степени развития зеленой биомассы значения NDVI изменяются в диапазоне от 0,4 до 1,0 и не могут быть меньше 0,2. Причинами значений NDVI ниже нуля в летний период съемки могут являться облачность или водоемы [6].

Таким образом, анализ значений индекса NDVI помимо определения зон с угнетенной растительностью позволяет дополнительно определять изменения объемов фитомассы на исследуемой территории.

Весь процесс обработки и анализа данных можно представить в виде алгоритма последовательных действий:

*Шаг 1.* Формирование коллекции спутниковых данных на исследуемую территорию за многолетний период. В Научно-исследовательском информационном центре Института химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук сформирована коллекция спутниковых данных MODIS для территории Томской области за период 2000–2016 гг. В данной работе использованы данные MOD13Q1 за период 2010–2016 гг. покрывающие исследуемую территорию Томской области.

*Шаг 2.* Анализ экологических отчетов и статистической информации об аварийных ситуациях на территориях углеводородных месторождениях и формирование перечня территорий месторождений нуждающихся в проведении оценки состояния их растительного покрова. В данной работе проанализированы пять территорий нефтяных и нефтегазовых месторождений: Лугинецкое, Оленье, Ломовое, Катальгинское и Западно-Катальгинское месторождения.

Согласно ежегодному представляемому данным государственных докладов о состоянии и охране окружающей среды Томской области основное загрязнение земель и водоемов обусловлено высокой аварийностью на углеводородных месторождениях. Так, например, в 2016 г. на объектах нефтегазодобывающего комплекса зарегистрирован 61 некатегорийный отказ, которые произошли на объектах



ОАО «Томскнефть» ВНК (52 отказа на нефтепроводах, 9 – на водоводах). Основное количество отказов произошло в результате коррозии труб и повышения интенсивности эксплуатации месторождений. В таблице 1 представлены собранные данные о количестве отказов на нефтедобывающих объектах с 2010 по 2016 г. [7].

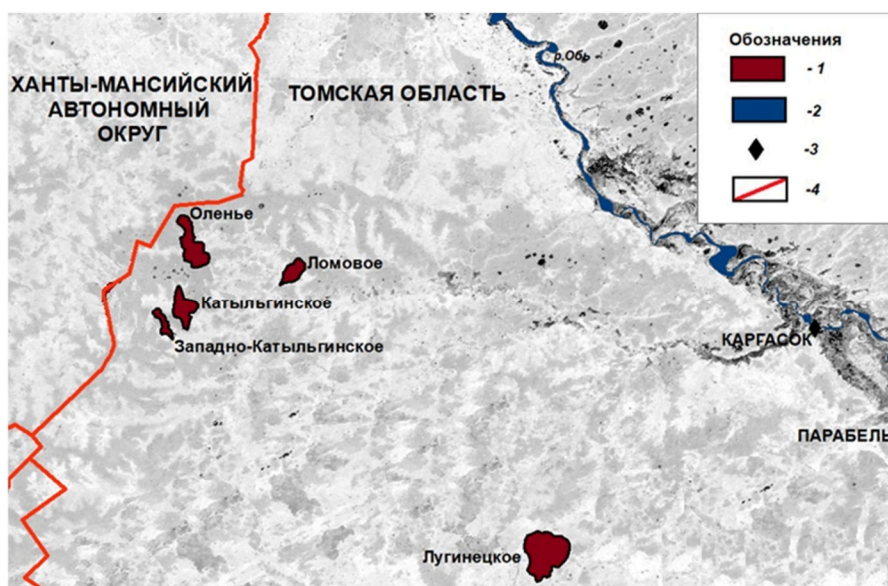
**Таблица 1** – Количество отказов оборудования на исследуемых углеводородных месторождениях Томской области

Месторождение	Число аварий (в год) в год							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
1. Лугинецкое	43	28	44	26	15	10	4	
2. Олень	26	22	20	7	7	22	5	
3. Ломовое	43	28	44	26	15	10	4	
4. Катыльгинское	40	69	26	13	9	5	2	
5. Западно-Катыльгинское	10	25	15	3	6	3	2	

*Шаг 3.* Создание средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 полигональных векторных слоев исследуемых территорий. В данной работе представлены результаты анализа состояния растительного покрова территорий пяти углеводородных месторождений Томской области с 2010–2016 гг. (рис. 1).

*Шаг 4.* Анализ и интерпретация полученных результатов.

Для анализа изменения вегетационного индекса были взяты спутниковые данные MOD13Q1 16-Day Vegetation Indices (250 м) за 7-летний период с 2010 по 2016 г. для 193 дня в году, т.е. 16-ти дневные усредненные значения с 27 июня по 13 июля для каждого года.



**Рисунок 1** – Исследуемые территории месторождений Западной Сибири:  
 1 – территории нефтяных и газонефтяных месторождений; 2 – крупные реки; 3 – населенные пункты;  
 4 – границы административно-территориальных образований

На рисунке 2 представлена динамика изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI, рассчитанная с помощью инструмента Зональная статистика (Zonal Statistics) геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 по спутниковым данным MOD13Q1 для территорий пяти исследуемых углеводородных месторождений за период с 2010 по 2016 г.

Установлено, что для пяти территорий углеводородных месторождений тенденция изменения значений индекса однотипна – высокие значения в 2016 г. и минимальные значения – в 2012 г. Минимальные значения индекса NDVI получены для растительности на территории Оленьего (0,7320) и Лугинецкого (0,7415) месторождений в 2012 г. Полученные результаты согласуются с данными, приведенными в таблице 1. Так, в 2012 г. на территории Лугинецкого месторождения количество отказов увеличилось с 106 до 144 по сравнению с 2011 г. По данным ОАО «Томскнефть» ВНК [8] в 2012 г. во время отказов из трубопроводов вытекло 8,7 т нефти и 7,8 т высокоминерализованной жидкости. Общая площадь загрязненных земель составила 2,0 га. Наибольшему по площади загрязнению в 2012 г. подверглись земли на Лугинецком (0,53 га) [8], что и объясняет такое низкое значение индекса NDVI на рисунке 2.

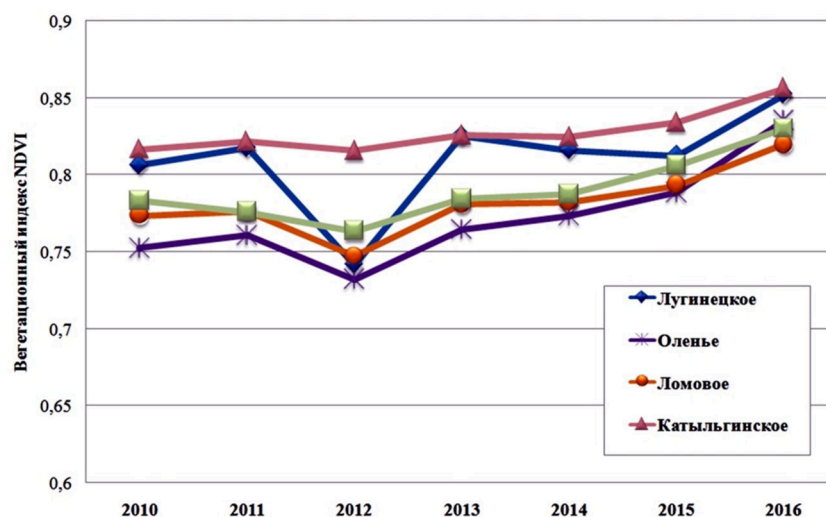


Рисунок 2 – Динамика изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI

Несмотря на приведенный выше анализ, можно сделать вывод о том, что новая законодательная политика и отслеживание своевременности проведения рекультивационных работ сыграло положительную роль на рост значения индекса NDVI. Согласно представленной ОАО «Томскнефть» ВНК информации, затраты на природоохранные мероприятия в 2012 г., по сравнению с 2011 г., увеличились на 16 %, причем основное увеличение затрат произошло за счет выполнения мероприятий по охране атмосферного воздуха [8]. В целях сокращения загрязнения атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ в 2012 г. Правительством Российской Федерации 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». Данное постановление заложило основу более осмысленного отношения к состоянию окружающей среды. По полученным графикам динамики изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI (рис. 2) можно установить улучшение состояния растительности с 2012 г. на исследуемых территориях.

Рассчитанные значения вегетационных индексов NDVI по спутниковым снимкам согласуются с информацией об аварийности на нефтегазодобывающих территориях Томской области. Таким образом, можно прийти к заключению, что применение спутниковых данных и ГИС-технологий дают возможность проанализировать состояние растительного покрова труднодоступных нефтегазодобывающих территорий Томской области, проводить картографирование и пространственный анализ труднодоступной болотистой местности, что оказывает значительную помощь в своевременной оценке экологической ситуации и принятии решений в устранении и профилактики загрязнения окружающей среды.

### Литература:

1. Днепровская В.П., Перемитина Т.О., Яценко И.Г. Оценка индекса NDVI и содержания углеводов в болотных водах на нефтедобывающих территориях Западной Сибири // Вода: химия и экология. – 2017. – № 9. – С. 3–10.
2. Дюкарев Е.А., Алексеева М.Н., Головацкая Е.А. Исследование растительного покрова болотных экосистем по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. – 2017. – № 2. – С. 38–51.
3. Официальный сайт радиометра MODIS [Электронный ресурс]: описание системы TERRA и сканера MODIS. – URL : <http://modis.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 25.03.2018).
4. Nouri H., Anderson S., Sutton P., Beecham S., Naglere P., Jarchow C., Roberts D. NDVI, scale invariance and the modifiable areal unit problem: An assessment of vegetation in the Adelaide Parklands // Science of The Total Environment. Elsevier. – 2017. – V. 584–585. – P. 11–18.
5. Jönsson A., Eklundh L., Hellström M., Barring L., Jönsson P. Annual changes in MODIS vegetation indices of Swedish coniferous forests in relation to snow dynamics and tree phenology // Remote Sensing of Environment. – 2010. – V. 114. – P. 2719–2730.
6. Liu L., Liang L., Schwartz M., Donnelly A., Wang Z., Schaaf C., Liu L. Evaluating the potential of MODIS satellite data to track temporal dynamics of autumn phenology in a temperate mixed forest // Remote Sensing of Environment. – 2015. – V. 160. – P. 156–165.
7. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2016 году»: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Ижевск : ООО «Принт-2», 2017. – 160 с.
8. 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.

**References:**

1. Dneprovskaya V.P., Peremitina T.O., Yashchenko I.G. Assessment of the NDVI index and the content of hydrocarbons in marsh waters in oil-extracting territories of Western Siberia // *Water: chemistry and ecology*. – 2017. – № 9. – P. 3–10.
2. Dyukarev E.A., Alekseeva M.N., Golovatskaya E.A. A research of a vegetable cover of marsh ecosystems on satellite data // *Earth Research from space*. – 2017. – № 2. – P. 38–51.
3. Official site of the MODIS radiometer [An electronic resource]: description of the TERRA system and MODIS scanner. – URL : <http://modis.gsfc.nasa.gov> (date of the address: 3/25/2018).
4. Nouri H., Anderson S., Sutton P., Beecham S., Naglere P., Jarchow C., Roberts D. NDVI, scale invariance and the modifiable areal unit problem: An assessment of vegetation in the Adelaide Parklands // *Science of The Total Environment*. Elsevier. – 2017. – V. 584–585. – P. 11–18.
5. Jönsson A., Eklundh L., Hellström M., Barring L., Jönsson P. Annual changes in MODIS vegetation indices of Swedish coniferous forests in relation to snow dynamics and tree phenology // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – V. 114. – P. 2719–2730.
6. Liu L., Liang L., Schwartz M., Donnelly A., Wang Z., Schaaf C., Liu L. Evaluating the potential of MODIS satellite data to track temporal dynamics of autumn phenology in a temperate mixed forest // *Remote Sensing of Environment*. – 2015. – V. 160. – P. 156–165.
7. The state report «About a state and environmental protection of the Tomsk region in 2016»: Department of natural resources and environmental protection of the Tomsk region, Regional State Budgetary Institution Oblkomprroda. – Izhevsk : LLC Print-2, 2017. – 160 p.
8. Environmental monitoring: The report on a state and environmental protection of the Tomsk region in 2012: Department of natural resources and environmental protection of the Tomsk region, Regional State Budgetary Institution Oblkomprroda. – Tomsk : Deltaplan, 2013. – 172 p.