

УДК 504.064

DOI: 10.15372/ChUR20190108

## Дистанционный мониторинг экологического состояния нефтедобывающих территорий Западной Сибири

Т. О. ПЕРМИТИНА, И. Г. ЯЩЕНКО

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

### Аннотация

Рассмотрены возможности дистанционного зондирования как метода оценки экологического состояния труднодоступных территорий. С применением свободно распространяемых спутниковых снимков среднего пространственного разрешения MODIS исследована динамика изменения состояния растительного покрова антропогенно нарушенных территорий Томской обл. в условиях негативного воздействия нефтедобычи. Проведена оценка состояния растительного покрова по значению нормализованного вегетационного индекса NDVI. Проанализирована динамика состояния растительного покрова в период вегетации за 9-летний период с 2010 по 2018 гг. В работе пошагово изложен алгоритм обработки спутниковых данных средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2. Проведен анализ значений вегетационных индексов NDVI фоновой территории Оглатского заказника и пяти территорий нефтегазовых месторождений Томской области: Лугинецкого, Оленьего, Ломового, Катыйгинского и Западно-Катыйгинского. Установлено, что для исследуемых территорий тенденция изменения значений индекса однотипна: высокие значения в 2016 г. и минимальные – в 2012 г. Анализ динамики изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI в период вегетации показал улучшение состояния растительного покрова с 2012 до 2016 гг., но значительное снижение его значений с 2016 по 2018 гг. на всех исследуемых территориях.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Западная Сибирь – наиболее развитый и богатый нефтью и газом регион России. Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн расположен на территории Западно-Сибирской равнины и охватывает такие российские регионы, как Новосибирская, Омская, Тюменская, Томская обл., Ханты-Мансийский АО и Ямало-Ненецкий АО. Третьим по значимости нефтедобывающим регионом России в Западной Сибири является Томская обл. По последним оценкам (на основании геологического прогноза), объем еще не разведанных нефтяных ресурсов превышает разведанные примерно в 1.8 раза, это позволяет сделать вывод о том, что нефтедо-

быча в Томской обл. будет продолжаться еще много лет [1].

Государственные власти несут ответственность за мониторинг и обеспечение соблюдения природоохранного законодательства, разработку стратегий для энергетического сектора. Однако в результате приватизации нефтяного сектора ответственность за прошлые и текущие экологические и социальные воздействия нефтегазового сектора перешла к руководству российских и иностранных нефтяных компаний, эксплуатирующих месторождения [2].

В настоящее время при оценке состояния окружающей среды используются различные методы получения информации: наземные наблюдения, аэросъемка и спутниковые данные.

Однако большая площадь территории Западной Сибири относится к так называемым труднодоступным территориям, где возникают трудности с наземными наблюдениями по экономическим соображениям [3]. Вследствие перечисленных выше особенностей исследуемых территорий, состояние растительного покрова можно оценить используя спутниковые данные, находящиеся в свободном доступе.

Цель данной работы – проведение 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 качество, приемлемое для обнаружения изменений состояния растительного покрова.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Применение нормализованного вегетационного индекса

Перечисленным выше требованиям к спутниковым данным удовлетворяют характеристики спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Он установлен на борту спутников Terra и Aqua. Съемка ведется в 36 спектральных каналах в оптическом диапазоне спектра с разрешением от 250 до 1000 м. Два из них (с разрешением 250 м) находятся в красной и ближней инфракрасной зонах [4]. Широкая полоса обзора обеспечивает возможность ретроспективного анализа состояния территории Томской обл. за период 2000–2016 гг. В данной работе использованы специализированные продукты MOD13Q1, содержащие значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), которые формируются один раз в 16 суток [5].

Расчет индекса NDVI основан на разнице отражения в ближней инфракрасной и красной областях электромагнитного спектра [6, 7]:

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

где NIR, RED – коэффициенты отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра соответственно.

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 наличием пигментов в листьях, хвое и др. Таким образом, разница в отражаю-

щей способности позволяет выделить следующие территории: без растительного покрова, с фотосинтетически неактивной и фотосинтетически активной растительностью. Для интерпретации рассчитанных значений используется дискретная шкала, где значения NDVI изменяются в диапазоне от –1 до 1. Для зеленой биомассы высокой и средней степени развития значения NDVI колеблются от 0.4 до 1.0 и не могут быть меньше 0.2 [6, 7].

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

### Методические вопросы дистанционного мониторинга

Дистанционная оценка экологического состояния проведена для территорий пяти нефтегазоносных месторождений Томской обл.: Лугинецкого, Оленьего, Ломового, Катальгинского и Западно-Катальгинского. Для проверки корректности предложенной методики в анализ включена фоновая территория Государственного природного заказника областного значения “Оглатский” (Оглатский заказник) Каргасокского р-на Томской обл. Он представляет собой смешанный лесной массив площадью 100 тыс. га.

Согласно открытой ежегодно предоставляемой информации из государственных докладов о состоянии и охране окружающей среды Томской обл., основное загрязнение земель и водоемов обусловлено высокой аварийностью на углеводородных месторождениях [8]. В 2016 г. на объектах нефтегазодобывающего комплекса зарегистрирован 61 некатегорийный отказ, который произошел 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 табл. 1 представлены собранные данные

ТАБЛИЦА 1

Количество отказов оборудования на исследуемых углеводородных месторождениях Томской обл.

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

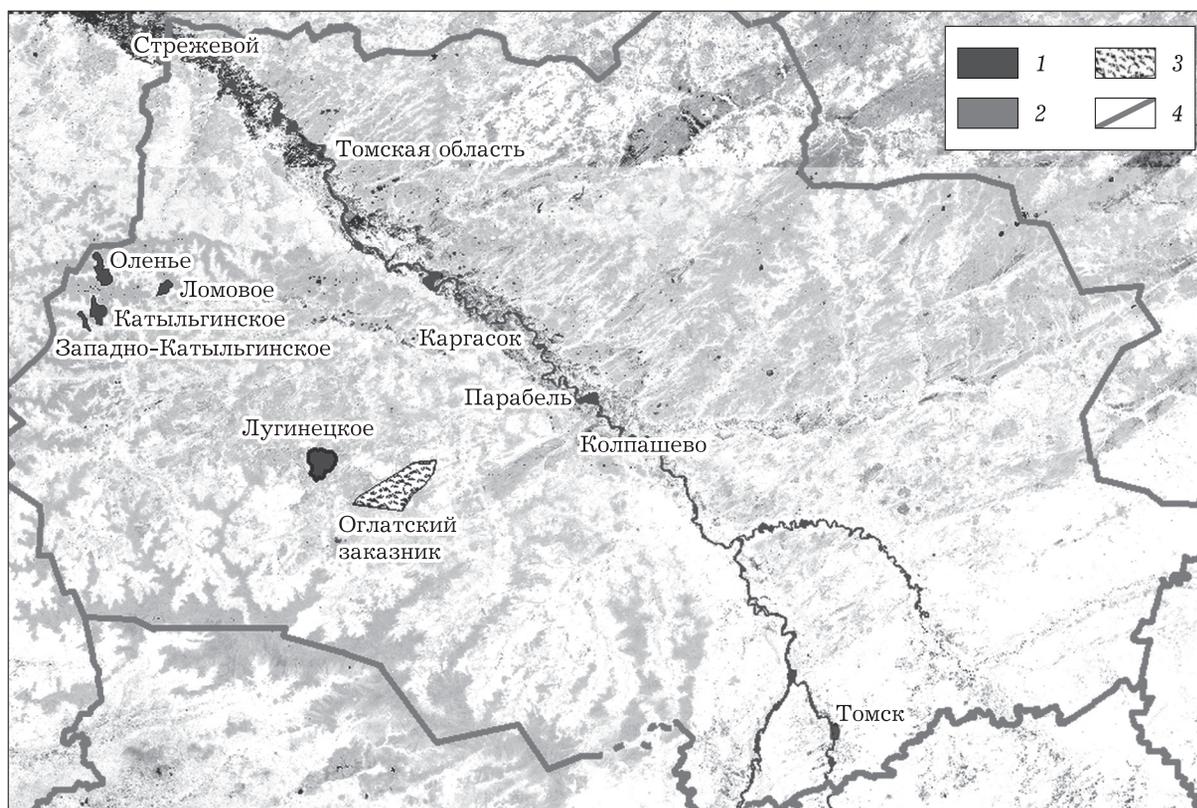


Рис. 1. Исследуемые территории месторождений Западной Сибири: 1 – нефтяные и газонефтяные; 2 – крупные реки; 3 – населенные пункты; 4 – границы административно-территориальных образований.

о количестве отказов на нефтедобывающих объектах с 2010 по 2016 гг.

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

Первый шаг предполагает формирование коллекции спутниковых данных исследуемой территории за многолетний период. В Научно-исследовательском информационном центре Института химии нефти СО РАН собраны спутниковые данные MODIS для территории Томской обл. за период 2000–2018 гг. В расчетах использованы данные MOD13Q1 за 2010–2018 гг., покрывающие исследуемую территорию Томской обл.

На втором шаге проводится анализ экологических отчетов и статистической информации об аварийных ситуациях на территориях углеводородных месторождений и формирование перечня месторождений, территории которых нуждаются в проведении оценки состояния их растительного покрова.

Третий шаг предполагает создание средствами геоинформационной системы ArcGis10.2.2 полигональных векторных слоев исследуемых территорий. В данной работе представлены результаты анализа состояния растительного покрова территорий пяти углеводородных месторождений Томской обл. с 2010 по 2018 гг. (рис. 1).

На последнем, четвертом шаге проводится анализ и интерпретация полученных результатов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа изменения вегетационного индекса взяты спутниковые данные MOD13Q1 16-Day Vegetation Indices (250 м) за период с 2010 по 2018 гг. для 193 дней в году, т. е. 16-дневные усредненные значения с 27 июня до 13 июля для каждого года.

На рис. 2 представлена динамика изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI. Она рассчитана с помощью инструмента “Зональная статистика” (Zonal Statistics) геоинформационной системы ArcGis 10.2.2. Использовались спутниковые данные MOD13Q1 для территорий пяти исследуемых углеводородных месторождений за период с 2010 по 2018 гг.

Как видно, максимальное значение вегетационного индекса NDVI соответствует состоянию растительного покрова фонового участка (Оглатский заказник) в 2016 г. Установлено, что для пяти территорий углеводородных месторождений тенденция изменения индекса однотипна:

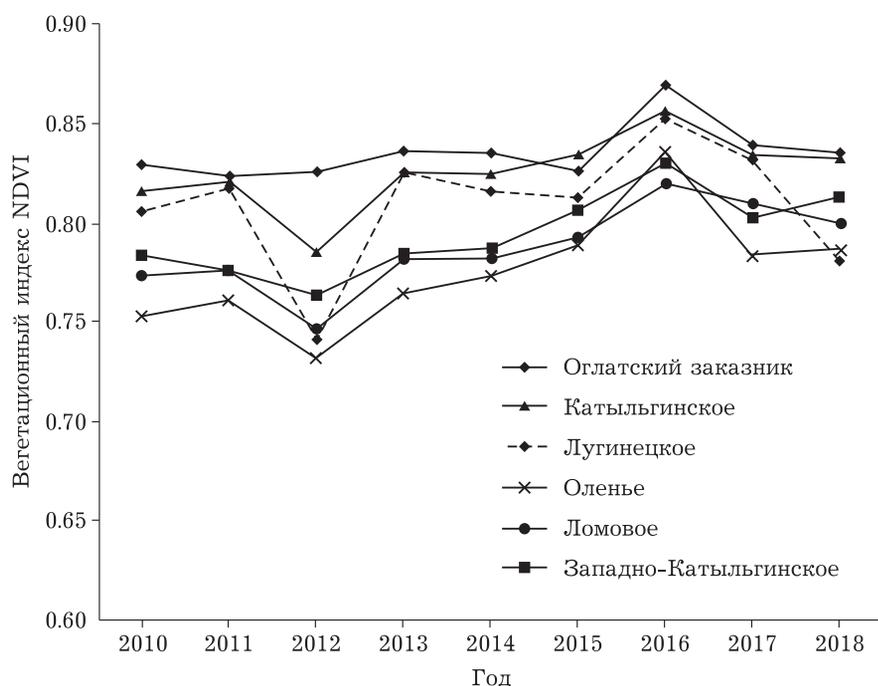


Рис. 2. Динамика изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI.

высокие значения в 2016 г. и минимальные – в 2012 г. Минимальные значения получены для растительности на территориях Оленьего (0.7320) и Лугинецкого (0.7415) месторождений в 2012 г. Полученные результаты согласуются с данными, приведенными в табл. 1. Так, в 2012 г. на территории Лугинецкого месторождения количество отказов увеличилось со 106 до 144 по сравнению с 2011 г. По данным ОАО “Томскнефть” ВНК, 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 месторождении (0.53 га) [8], что и объясняет такое низкое значение индекса NDVI (см. рис. 2).

Согласно информации, предоставленной ОАО “Томскнефть” ВНК, затраты на природоохранные мероприятия в 2012 г. по сравнению с 2011 г. увеличились на 16 %, причем основное увеличение затрат произошло в результате выполнения мероприятий по охране атмосферного воздуха [9]. 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” [10].

Это постановление заложило основу более осмысленного отношения к состоянию окружающей среды. По данным графиков динамики изменения средних значений нормализованного вегетационного индекса NDVI (см. рис. 2) можно выявить улучшение состояния растительности на исследуемых территориях с 2012 г. Рассчитанные значения вегетационных индексов NDVI по спутниковым снимкам согласуются с информацией об аварийности на нефтегазодобывающих территориях Томской обл.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что на северо-западе и юго-востоке Каргасокского р-на Томской обл., где находятся исследованные площади, тенденция изменения вегетационного индекса за период 2010–2018 г. сохраняется: минимальные значения в 2012 г., высокие – в 2016 г., а в дальнейшем снова снижаются. Рассчитанные значения вегетационных индексов NDVI по спутниковым снимкам согласуются с информацией об аварийности на нефтегазодобывающих территориях Томской обл.

Таким образом, применение спутниковых данных и ГИС-технологий позволяет анализировать состояние растительного покрова труднодоступных нефтегазодобывающих территорий Томской обл., проводить картографирование и пространственный анализ болотистой местно-

сти. Благодаря этому, можно своевременно оценить экологическую ситуацию и принять решение по устранению и профилактике загрязнения окружающей среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Перемитина Т. О., Яценко И. Г. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки динамики растительности нефтедобывающих территорий Западной Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: матер. XIV Междунар. науч. конгр. Новосибирск, 2018. Т. 2. С. 154–163.
- 2 West Siberia Oil Industry Environmental and Social Profile [Электронный ресурс] // Final Report. Режим доступа: <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2001/5/west-siberia-oil-industry-envi.pdf> (дата обращения: 26.12.2018).
- 3 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.
- 4 MODIS Overview [Электронный ресурс] // MODIS Vegetation Indices. Режим доступа: [https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis) (дата обращения: 26.12.2018).
- 5 Liu L., Liang L., Schwartz M., Donnelly A., Wang Z., Schaaf C., Liu L. // Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 160. P. 156–165.
- 6 Gillespie T., Ostermann-Kelm S., Dong C., Willis K., Okin G., MacDonald G. // Elsevier. 2018. Vol. 88. P. 485–494.
- 7 Яценко И. Г., Перемитина Т. О. Применение данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга состояния окружающей среды нефтедобывающих территорий Западной Сибири // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 12. С. 42–48.
- 8 Государственный доклад “О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2015 году”: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ “Облкомприрода”. Томск: Дельтаплан, 2016. 156 с.
- 9 Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2012 году. Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской обл., ОГБУ “Облкомприрода”. Томск: Дельтаплан, 2013. 172 с.
- 10 Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2012 г. № 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” [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение “Гарант”. Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/#/document/70257422/paragraph/1073742591:4> (дата обращения 26.12.2018).

