

Применение вегетационных индексов для диагностики состояния природных экосистем на объектах нефтегазового комплекса

Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко*

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

Поступила в редакцию 3.02.2021 г.

Исследовано состояние растительного покрова углеводородных месторождений Парабельского р-на Томской обл.: Герасимовское, Казанское, Калиновое, Мирное, Нижне-Табаганское и Урманское. По спутниковым данным Terra/MODIS средствами геоинформационной системы ArcGis выполнен расчет средних значений вегетационного индекса EVI (Enhanced Vegetation Index) для исследуемых территорий. Диагностика состояния растительного покрова проведена для раннего периода вегетации с 25 мая по 25 июня за последние десять лет (2011–2020 гг.). Установлено, что в 2020 г. наблюдаются положительные тенденции EVI на всех исследуемых территориях, что свидетельствует о восстановлении растительного покрова и улучшении экологической обстановки.

Ключевые слова: спутниковые данные, вегетационный индекс, геоинформационные системы, растительный покров, углеводородное месторождение; satellite data, vegetation index, geoinformation systems, vegetation cover, hydrocarbon deposits.

Введение

Изучение характера воздействия производственных предприятий и предприятий нефтегазового комплекса на природную среду — сложная и многокомпонентная задача, актуальность которой со временем только возрастает. Разведка, добыча, транспортировка и переработка углеводородного сырья являются причинами негативного воздействия на окружающую среду прежде всего через гидро-, лито- и атмосферу. В настоящее время разработано большое число подходов, методик и мониторинговых систем диагностики состояния природных экосистем с целью обнаружения аварийных ситуаций и оценки экологической ситуации в нефтедобывающих регионах [1, 2]. Одно из направлений работ Научно-исследовательского центра Института химии нефти СО РАН связано с анализом состояния природных экосистем, подверженных влиянию нефтегазодобывающих предприятий Томской обл., по спутниковым данным спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Томская область — индустриальный регион с высоким уровнем развития нефтегазодобывающей и нефтехимической промышленности. В разрезе отраслей производства Томской обл. основной вклад в загрязнение атмосферы приходится на выбросы предприятий топливно-энергетического комплекса, наибольший вклад в валовый объем выбросов

(рис. 1) вносят предприятия по добыче сырой нефти и попутного нефтяного газа (ПНГ) [3].

- Добыча сырой нефти и природного газа
- Обеспечение электрической энергией, газом и паром
- Деятельность сухопутного и трубопроводного транспорта
- Сбор, обработка и утилизация отходов

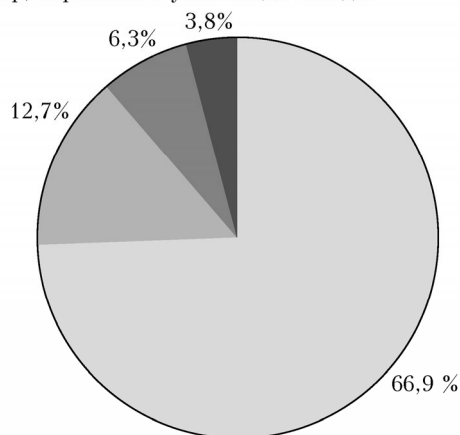


Рис. 1. Доля выбросов загрязняющих веществ по отраслям производства Томской обл.

По данным Сибирского межрегионального управления Росприроднадзора, опубликованным в 2019 г., на первом месте по выбросам загрязняющих веществ находятся предприятия нефтегазодобывающей отрасли Парабельского р-на Томской обл. — 32,6% (73,5 тыс. т) [3]. Из табл. 1 видно, что с 2016 г.

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

Парабельский р-н регулярно занимал второе место по объему выбросов, а в 2019 г. вышел на первое место, опередив Каргасокский.

Таблица 1

Выбросы загрязняющих веществ (масса, тыс. т) от стационарных источников по районам Томской обл. в 2011–2019 гг. [3]

Год	Район		
	Каргасокский	Парабельский	Александровский
2011	158,2	63,2	73,5
2012	144,0	53,0	47,1
2013	119,5	68,6	43,2
2014	89,6	94,7	34,8
2015	91,0	104,7	29,5
2016	108,6	101,7	25,5
2017	92,8	84,7	25,8
2018	82,4	73,0	20,1
2019	73,1	73,5	17,3

Для сохранения и улучшения состояния природных экосистем, подверженных техногенному воздействию нефтегазодобывающих предприятий, необходимо регулярно проводить мониторинг и оценку состояния атмосферы, почвы, растительного покрова, поверхностных и подземных вод, что определяет актуальность и научную значимость представленных нами результатов.

Цель настоящей работы – анализ растительного покрова в зоне техногенного воздействия нефтегазодобывающих предприятий на территориях месторождений Парабельского р-на Томской обл. за 2011–2020 гг. с применением разработанной методики количественной оценки состояния раститель-

ности на основе вегетационных индексов по спутниковым данным MODIS.

Объект исследования

Территория Парабельского р-на (рис. 2) расположена в пределах двух подзон таежной зоны Западно-Сибирской равнины; правобережная часть района – в пределах средней тайги, а левобережная – в южной тайге [4].

Исследовался растительный покров территории шести углеводородных месторождений: Герасимовское, Казанское, Калиновое, Мирное, Нижне-Табанганское и Урманское (рис. 2), расположенных в пределах подзоны южной тайги Западно-Сибирской равнины. Растительность здесь разнообразна, развиты березовые леса с примесью пихты, ели, кедра, кедрово-пихтовые, пихтово-елово-кедровые леса. Наиболее распространена зеленомошниковая тайга, развивающаяся на типичных подзолистых, суглинистых почвах. Березовые леса из березы бородавчатой имеют хорошо выраженный подрост хвойных пород и довольно богатый травянистый ярус. Обширные территории заняты болотами [5].

Материалы и методы

Значительный потенциал использования спутниковых данных в задачах мониторинга растительного покрова продемонстрирован результатами ряда исследований [1, 2, 6, 7]. Различия коэффициентов спектральной яркости растений и их частей обусловлены составом и состоянием пигментов тканей, морфологией растения в целом, возрастом,

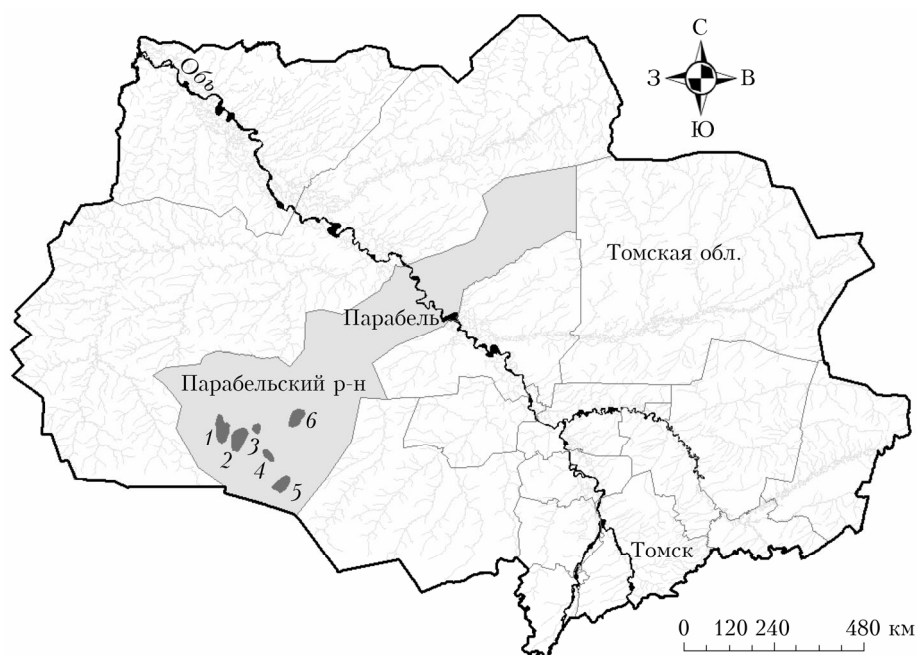


Рис. 2. Карта ТО: 1 – Урманское; 2 – Нижне-Табанганское; 3 – Герасимовское; 4 – Калиновое; 5 – Казанское; 6 – Мирное углеводородные месторождения

экологических условиях [8, 9]. В этой связи системы дистанционного зондирования Земли разрабатываются с учетом возможности регистрации специфических различий отражаемой от разных объектов солнечной энергии. Выделение большего числа спектральных диапазонов съемки повышает вероятность идентификации объектов и определения их характеристик на космическом снимке. Однако коэффициенты спектральной яркости подвержены существенным вариациям в зависимости от состояния атмосферы, времени съемки, высоты солнца и других параметров. В связи с этим дешифрирование и классификация типов растительности, а также оценка показателей их состояния по материалам космической съемки могут выполняться с использованием спектральных вегетационных индексов. Вегетационные индексы представляют собой арифметические комбинации коэффициентов спектральной яркости в отдельных спектральных каналах спутниковых данных.

В настоящее время для детектирования территорий с нарушенной растительностью и получения количественной оценки состояния растительного покрова была показана принципиальная возможность использования данных радиометра MODIS со спутников Terra и Aqua [7, 8]. В настоящей работе применена разработанная ранее методика [8] оценки состояния растительного покрова по спутниковым данным MODIS – 16-дневным композитам с пространственным разрешением 250 м, содержащим значения нормированного разностного вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и улучшенного вегетационного индекса EVI (Enhanced Vegetation Index).

Для анализа состояния растительности по данным мультиспектрального дистанционного зондирования весьма популярен NDVI, рассчитываемый по значениям отражения в красной и ближней инфракрасной областях спектра:

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

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

Однако, как отмечается в работах многих авторов (например, [8, 10]), NDVI чувствителен к фоновому отражению, что ограничивает использование этого индекса. В качестве альтернативы NDVI используется EVI, в расчетах которого учитываются значения спектральной яркости поверхности в синем диапазоне длин волн, при этом влияние почвы и атмосферы в значениях указанного индекса минимизировано. Расчет EVI выполняется по формуле

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

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 крас-

ном канале. Диапазон значений индекса – от –1 до 1; для зеленой растительности – от 0,2 до 0,8.

Для достижения целей исследования была сформирована коллекция цифровых карт со значениями EVI за два 16-дневных цикла начала вегетации (май–июнь) в Томской обл. с 2011 по 2020 г. (табл. 2).

Таблица 2
Перечень используемых спутниковых данных
(пространственное разрешение 250 м)
за 2011–2020 г. [10]

Спутниковые данные	16-дневный цикл
MOD13Q1–145	25 мая – 9 июня 2011 г.
	24 мая – 8 июня 2012 г.
	25 мая – 9 июня 2013 г.
	25 мая – 9 июня 2014 г.
	25 мая – 9 июня 2015 г.
	24 мая – 8 июня 2016 г.
	25 мая – 9 июня 2017 г.
	25 мая – 9 июня 2018 г.
	25 мая – 9 июня 2019 г.
	24 мая – 8 июня 2020 г.
	MOD13Q1–161
9–24 июня 2012 г.	
10–25 июня 2013 г.	
10–25 июня 2014 г.	
10–25 июня 2015 г.	
9–24 июня 2016 г.	
10–25 июня 2017 г.	
10–25 июня 2018 г.	
10–25 июня 2019 г.	
9–24 июня 2020 г.	

Средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 проанализированы 20 цифровых карт EVI (табл. 2) для получения количественной оценки состояния растительности шести углеродных месторождений Томской обл. (см. рис. 2). Для расчета средних значений EVI подготовлено шесть полигональных слоев с границами исследуемых месторождений, и для каждого слоя рассчитана зональная статистика – среднее, медианное значение EVI и стандартное отклонение в рамках выделенной территории.

Результаты исследования

Результаты расчетов средних значений EVI за два 16-дневных цикла (25 мая – 9 июня и 10–25 июня каждого года) начала вегетации в Томской обл. с 2011 по 2020 г. для территорий шести исследуемых месторождений приведены на рис. 3.

Минимальные значения EVI наблюдаются с 25 мая по 9 июня 2013 г. для территории Казанского месторождения (рис. 3, а), максимальное значение индекса соответствует периоду с 10 по 25 июня 2020 г. для территории Калинового месторождения (рис. 3, б). В целом для всех исследуемых территорий можно сказать, что за 10-летний период EVI демонстрирует слабый положительный тренд, максимальные значения в большинстве случаев получены в 2020 г., следовательно, и состояние растительного покрова, согласно вычисленным данным, в этот год

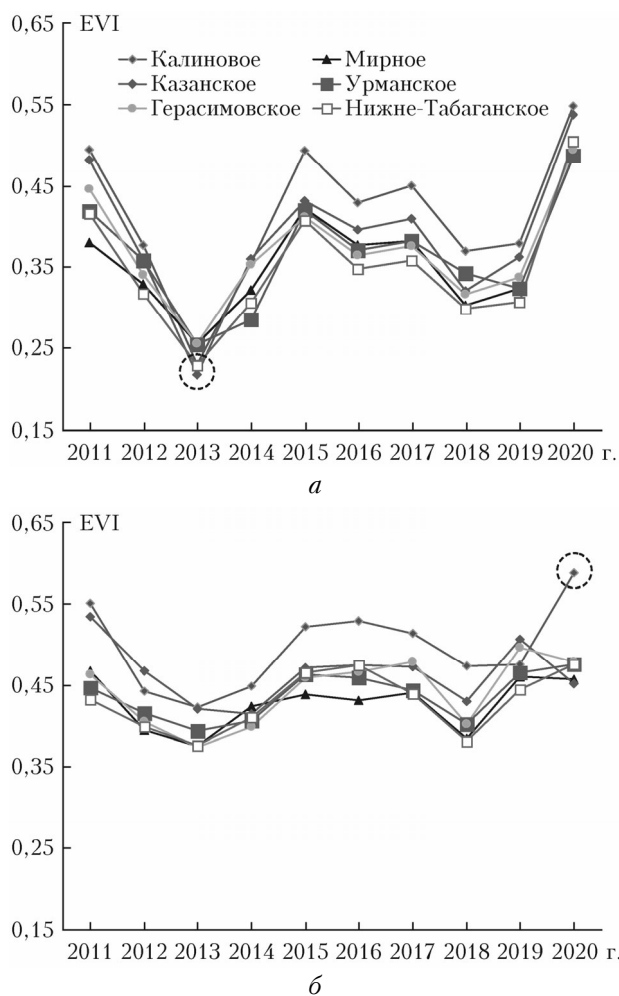


Рис. 3. Динамика средних значений EVI за два 16-дневных цикла с 25 мая по 9 июня (а) и с 10 по 25 июня (б)

улучшилось. Установлено, что для всех исследуемых территорий тенденции изменения EVI однотипны: рост значений индекса с 2013 по 2015 г. и в 2019–2020 гг., резкое снижение значений индекса в 2013 г. В 2012 г. с целью сокращения загрязнения атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ и сокращения эмиссии парниковых газов, образующихся при сжигании ПНГ, Правительством Российской Федерации принято Постановление 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», что привело к снижению объемов выбросов нефтегазовыми предприятиями. Вероятно, именно это стало причиной роста значений EVI с 2014 г.

Соглашение стран ОПЕК о снижении объемов добычи нефти, принятое в апреле 2020 г., повлекло за собой рекордно низкий уровень добычи нефти и в Томской обл. в 2020 г. Выбросы загрязняющих веществ за этот период уменьшились, а значения EVI увеличились, что показывают положительные тенденции (линейные тренды) индексов на рис. 3.

Таким образом, государственная законодательная политика и контроль за проведением своевременных очистительных и рекультивационных работ в целом оказывают положительный эффект на восстановление растительного покрова за долгосрочный временной период. Об этом свидетельствует увеличение в среднем значений EVI на территориях рассматриваемых месторождений, как показывают наши данные (рис. 3).

Рассмотрим динамику значений EVI для двух месторождений – Казанского и Калиновое (10–25 июня) с 2011 по 2020 г. (рис. 4).

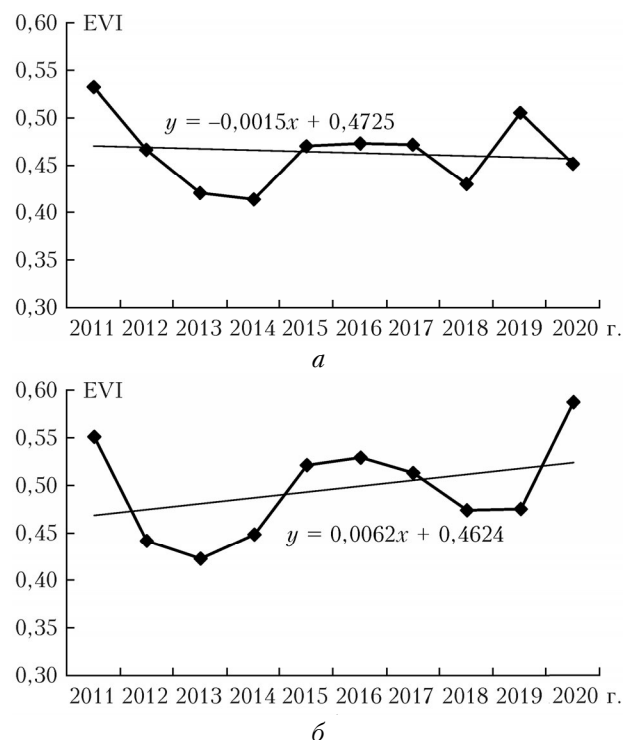


Рис. 4. Динамика средних значений EVI на Казанском (а) и Калиновом (б) месторождениях

Как видно из рис. 4, значения EVI на территории Казанского месторождения варьируются слабо (в пределах 0,41–0,53), что свидетельствует о незначительном изменении состояния растительного покрова за исследуемый период. На Калиновом месторождении в среднем тенденция положительная, индекс за десятилетие вырос примерно на 25% и в 2020 г. достиг уровня 0,59. Отметим, что оба месторождения являются нефтегазоконденсатными, со средними запасами, но Казанское месторождение более старое – открыто в 1967 г., промышленно эксплуатируется с 2000 г. В отличие от Казанского, Калиновое месторождение открыто в 1973 г., промышленная эксплуатация началась в 2016 г. Можно предположить, что из-за длительной эксплуатации Казанского месторождения возникает накопительный эффект от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на состояние растительности, и поэтому не прослеживается прямой линейной связи между снижением объемов выбросов и значениями EVI.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что территория Казанского месторождения требует наиболее детального изучения с помощью космических снимков высокого пространственного разрешения для выявления факторов, оказывающих негативное воздействие на растительность в границах месторождения.

Заключение

Разработанная ранее методика количественной оценки состояния растительного покрова нефтегазодобывающих территорий на основе значений вегетационных индексов по спутниковым данным MODIS была применена для анализа состояния растительного покрова шести углеводородных месторождений Парабельского р-на Томской обл. Установлено, что в 2011–2020 гг. значения EVI демонстрируют положительный тренд; максимальные значения индекса выявлены в 2020 г., что может свидетельствовать о восстановлении растительного покрова и улучшении экологической обстановки.

Стоит отметить, что для верификации полученных данных необходимо проведение наземных исследований растительного покрова. Сочетание наземных и спутниковых данных позволит усовершенствовать методику оценки состояния растительного покрова и расширить возможности ее применения на других территориях.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 121031500048-1).

1. *Бондур В.Г.* Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. 2010. № 6. С. 3–17.

2. *Кочергин Г.А., Курприянов М.А., Полищук Ю.М.* Использование космических снимков Landsat 8 для оперативной оценки суммарного объема факельного сжигания попутного газа на нефтедобывающей территории // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 5. С. 47–55.
3. *Государственные доклады: «О состоянии и охране окружающей среды Томской области»* [Электронный ресурс]. URL: https://ogbu.green.tsu.ru/?page_id=1456 (дата обращения: 30.01.2021).
4. *Официальный сайт Парабельского района Томской области* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.parabel.tomsk.ru/content/nature> (дата обращения: 30.01.2021).
5. *Родной край.* Очерки природы, истории, хозяйства и культуры Томской области: коллективная монография / В.С. Сумарокова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1974. 402 с.
6. *Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С.* Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 5. С. 125–141.
7. *Пушкин А.А., Сидельник Н.Я., Ковалевский С.В.* Оценка возможностей использования спектрального вегетационного индекса EVI для дешифрирования лесных насаждений по материалам космической съемки // Тр. Белорусского гос. ун-та. 2020. № 1. С. 5–11.
8. *Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Мониторинг состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий по спутниковым данным // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 1. С. 57–62.
9. *Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
10. *Earth Data: Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System Distributed Active Archive Center* [Electronic recourse]. URL: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/allData> (last access: 30.01.2021).

T.O. Peremitina, I.G. Yashchenko. Use of vegetation indices for diagnostics of the natural ecosystem state at oil and gas facilities.

The state of the vegetation cover of hydrocarbon deposits of the Parabelsky district of the Tomsk region: Gerasimovskoe, Kazanskoe, Kalinovoe, Mirnoe, Nizhne-Tabaganskoe, and Urmanskoe is studied. The average values of EVI (Enhanced Vegetation Index) are calculated for the areas under study on the basis of Terra/MODIS satellite data with the use of the ArcGis geographic information system. The state of the vegetation cover is examined for the early growing season, from May 25 to June 25, over the past ten years (2011–2020). Positive trends toward an increase in the EVI values in 2020 are found for all the territories under study, which indicate the revegetation process and improvement of the ecological situation.