

УДК 504.064

Анализ состояния растительности нефтедобывающих территорий Томской области с применением данных дистанционного зондирования

С.К. Кобзарь², Т.О. Перемитина¹, И.Г. Яценко^{1*}

¹Институт химии нефти СО РАН
634021, г. Томск, пр. Академический, 3

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634034, г. Томск, пр. Ленина, 40

Поступила в редакцию 30.12.2015 г.

Проведен мониторинг состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий Западной Сибири за период 2010–2015 гг. с использованием тематических продуктов MODIS. Предложен подход к оценке воздействия различных факторов на экологию нефтегазодобывающих территорий на основе дистанционных исследований состояния растительного покрова по значению коэффициента NDVI. Апробация предложенного подхода проведена для техногенно-нарушенных территорий четырех нефтяных месторождений Томской области – Крапивинского, Мыльджинского, Лугинецкого и Урманского. Дополнительно в качестве фонового участка исследована территория Государственного природного заказника областного значения «Оглатский».

Ключевые слова: окружающая среда, космические снимки, геоинформационные системы, месторождения нефти; environment, satellite images, geoinformation systems, oil field.

Вследствие интенсивной промышленной эксплуатации нефтяных ресурсов нефтедобывающий комплекс оказывает существенное прямое и косвенное воздействие на природную среду. Нефть и нефтепродукты являются опасными загрязнителями окружающей среды и пагубно влияют на все звенья биологической цепи. Загрязнение почвы в концентрации 80–100 г/кг создает критическую ситуацию, при которой растительный покров не возобновляется. Особенно уязвима в этом отношении экосистема заболоченной территории Западной Сибири.

Западно-Сибирский регион, активно развивающийся в промышленном отношении, в последние годы характеризуется нарастанием напряженности экологической обстановки [1]. Ряд городов и промышленных районов Западной Сибири может быть отнесен к зонам экологического бедствия. Основная причина этого – несоответствие масштабов техногенного воздействия на природную среду и мер по ее сохранению, восстановлению и охране. Конкретно это выражается в непрерывном нарастании площадей и объемов добычи нефти и газа со степенью выработки месторождений более 50%, использовании старых технологий, наличии опасных ядерно-химических объектов. К осложняющим факторам относится слабый учет устойчивости природных ландшафтов к техногенным воздействиям, которая свя-

зана с особенностями зоны распространения многолетнемерзлых пород и климатическими условиями рассеивания загрязнителей в атмосфере [2].

Натурные наблюдения на местности не могут обеспечить своевременную комплексную оценку экологического состояния нефтедобывающих территорий. Одним из эффективных и перспективных способов решения задачи непрерывного мониторинга состояния растительного покрова труднодоступных территорий является применение своевременных данных дистанционного зондирования Земли. Важнейшие преимущества систем космического мониторинга – большая обзорность, возможность работы в любых труднодоступных районах и получения информации практически в любом масштабе, с различным пространственным разрешением, а также высокая оперативность получения данных.

Вследствие труднодоступности территорий Западной Сибири, находящихся в зоне воздействия предприятий нефтедобычи, наиболее перспективным решением задачи оперативного мониторинга состояния растительного покрова является подход, основанный на использовании космических снимков (КС).

В Научно-исследовательском информационном центре ИХН СО РАН сформирована коллекция КС и спутниковых данных MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer – сканирующий спектрометр среднего разрешения) для исследуемой территории Западной Сибири за период 2000–2015 гг. Тематические продукты MODIS созданы зарубежными специалистами по результатам обработки КС,

* Снежана Константиновна Кобзарь (silver-gold.3@mail.ru); Татьяна Олеговна Перемитина (peremitinat@mail.ru); Ирина Германовна Яценко.

полученных со спутника TERRA сканером MODIS, и цифровых моделей рельефа. Материалы съемки MODIS имеют широкий спектр применения для исследования атмосферы, водных объектов и суши [3]. Данные MODIS по всей поверхности Земли поступают со спутника TERRA каждые два дня в 36 спектральных зонах (в диапазоне 0,405–14,385 мкм) с разрешением 250–1000 м, что обеспечивает моделирование в глобальном и региональном масштабах. Предназначение системы MODIS состоит в сборе данных для калиброванных глобальных интерактивных моделей Земли как единой системы. В будущем предполагается использование интерактивных моделей для прогнозирования глобальных изменений окружающей природной среды в связи с антропогенными влияниями. Стоит отметить, что материалы MODIS находятся в свободном доступе и позволяют оперативно оценивать состояние окружающей среды, в частности, данные продукта MOD13Q1 (дата съемки с 10.06.2015 по 26.06.2015 г.), необходимые для исследований в этой статье, были доступны уже 01.07.2015 г.

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых индексных изображений. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов.

Вегетационный индекс – показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных дистанционного зондирования и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Наиболее популярный и часто используемый индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – простой показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом), является самым распространенным индек-

сом для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова, и вычисляется по следующей формуле [4]:

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

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

В данной статье использован тематический продукт TERRA-MODIS – MOD13Q1 16-Day Vegetation Indices с разрешением 250 м, содержащий значения нормализованного вегетационного индекса (NDVI), усредненного за 16 дней. Анализ значений индекса NDVI позволяет выявить проблемные зоны с угнетенной растительностью на техногенно-нарушенных или загрязненных территориях и дает возможность принимать наиболее верные решения, направленные на улучшение экологического состояния ландшафта. При помощи статистической обработки ретроспективных данных о значениях индекса NDVI помимо нахождения зон с угнетенной растительностью можно дополнительно определять изменения объемов фитомассы на исследуемой территории.

В качестве примера применения данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга состояния окружающей среды нефтедобывающих территорий были проанализированы территории четырех месторождений Томской области – Крапивинское, Мыльджинское, Лугинецкое и Урманское (рис. 1). Дополнительно в качестве фоновой участка была исследована территория Государственного природного заказника областного значения «Оглатский», площадь которого составляет 100 тыс. га. Главное достояние данного заказника – лесные массивы Каргасокского района Томской области, где из всех лесных формаций настоящими доминантами являются смешанные леса.

Средствами геоинформационной системы ArcGis для территорий четырех указанных месторождений и территории заказника «Оглатский» по тематическому продукту MOD13Q1 рассчитано среднее значение NDVI за период с 2010 по 2015 г. (рис. 2).



Рис. 1. Исследуемые территории

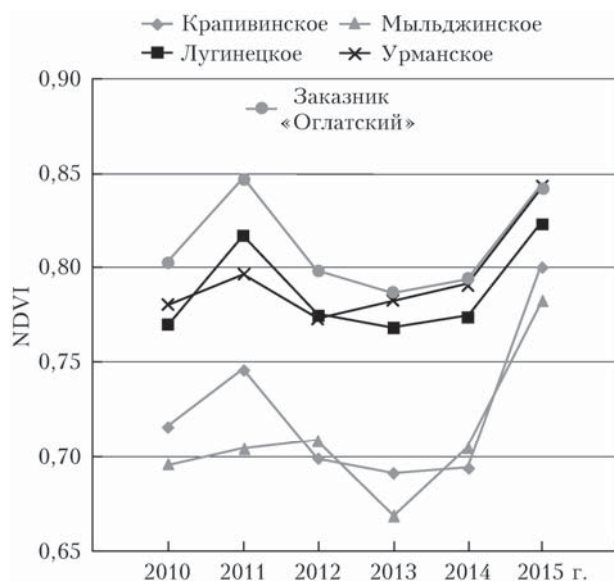


Рис. 2. Графики значений нормализованного вегетационного индекса

Как видно из рис. 2, максимальное значение вегетационного индекса $NDVI = 0,847$ соответствует состоянию растительного покрова фонового участка (территория заказника «Оглатский») в 2011 г. Стоит отметить, что для всех исследуемых территорий тенденция изменения значений индекса однотипна – высокие значения в 2011 и 2015 гг., минимальные

значения – в 2010 и 2013 гг., за исключением территории Мыльджинского месторождения (рис. 3). Такая согласованность может быть объяснена тем, что, например, в 2010 г. в Томской области были высокий уровень паводка и масштабное затопление, что способствовало естественному смыву нефтепродуктов с нефтезагрязненных земель месторождений и хорошему развитию растительного покрова на следующий год. А вычисленные относительно низкие значения индекса в 2013 г. могут быть обусловлены тем фактом, что лето 2013 г. началось с вторжения холодного арктического воздуха, в результате чего пониженный температурный фон июня с частыми осадками сказался на задержке в развитии растительности [5]. Средняя температура воздуха за июнь 2013 г. составила $+13...15\text{ }^{\circ}\text{C}$, что ниже нормы на $1...2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже средних значений 2012 г. на $7...8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для более детального анализа полученных результатов значения индекса NDVI были представлены в виде линейных трендов (рис. 3).

Видно, что значение $NDVI = 0,844$ в 2015 г. для растительного покрова месторождения Урманское почти совпадает со значением вегетационного индекса фонового участка. Данное месторождение относится к «молодым» месторождениям Томской области, введено в эксплуатацию в 2006 г. Ранее нами была выявлена зависимость изменения количества аварийных отказов и площади нефтезагрязненных земель от года ввода в эксплуатацию месторождения [5].

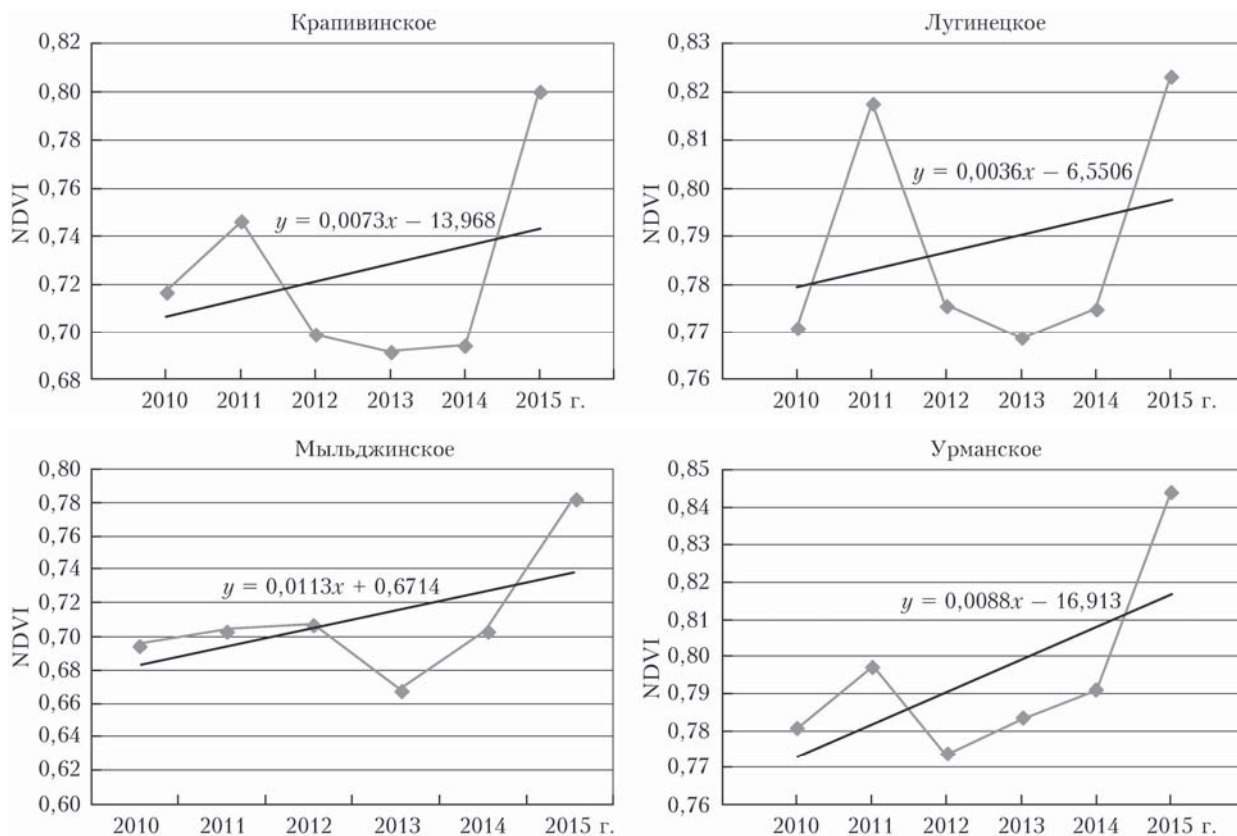


Рис. 3. Графики значений нормализованного вегетационного индекса для каждой исследуемой территории

Установлено, что загрязнение земель и водоемов обусловлено высокой аварийностью «старых» месторождений, которых на территории Томской области абсолютное большинство. На объектах нефтегазодобывающего комплекса Томской области в 2012 г. зарегистрирован 601 аварийный отказ оборудования (423 отказа на нефтепроводах, 176 – на водоводах, 2 – на газопроводах). Основное количество отказов произошло на нефтепроводах и водоводах в результате коррозии труб и повышения интенсивности эксплуатации месторождений.

В таблице представлена информация о количестве аварийных ситуаций на месторождениях. Результаты приведены как для некоторых «старых» месторождений, срок эксплуатации которых превышает 20–40 лет, так и для «молодых» месторождений – Урманское, Майское и Фестивальное, которые введены в эксплуатацию в 2006–2007 гг. [5].

Проведен анализ количества аварийных отказов (рис. 4, а) и площади нефтезагрязненных земель (рис. 4, б) на территории Лугинецкого месторождения с 2009 по 2014 г. [5]. Как видно из рис. 4, а и таблицы, наибольшее число аварий за указанный период на территории Лугинецкого месторождения произошло в 2012 г. – 144 случая, а в 2014 г. количество аварий было минимальным – 69 случаев, что согласуется с изменениями значений NDVI для рас-

тительности Лугинецкого месторождения (см. рис. 3), в частности, состояние растительного покрова с 2012 по 2014 г. было наихудшим, и значения индекса минимальны, а с 2014 г. значение индекса увеличивается при уменьшении количества аварий практически в 2 раза. Аналогичные зависимости проявляются при анализе графика на рис. 4, б – в 2010 г. наблюдается минимальная территория нефтезагрязнения, соответственно, растительность характеризуется хорошим состоянием на следующий 2011 г., что подтверждает высокое значение индекса на рис. 3 для территории Лугинецкого месторождения. Большая площадь загрязнения начиная с 2012 г., особенно в 2013 г., с максимальной площадью нефтезагрязнения (0,69 га) оказала влияние на состояние растительности в эти годы – самые низкие значения NDVI для растительности рассматриваемого месторождения наблюдаются в 2013 г. Далее в 2014 г. произошло сокращение количества аварий и площади загрязненных земель, что отразилось и на значении индекса – он увеличился в 2015 г. Таким образом, показана прямая зависимость между количеством аварий, площадью нефтезагрязнений и состоянием растительного покрова на территории нефтедобывающего предприятия.

Самое минимальное значение индекса NDVI = 0,669 вычислено для растительности на территории

Количество отказов и площадь нефтезагрязненных земель на месторождениях Томской области в 2012 г.

Месторождение	Год введения в эксплуатацию	Количество отказов	Площадь нефтезагрязненных земель, га
Советское	1966	102	0,28
Первомайское	1981	53	0,43
Катальгинское	1983	26	0,17
Лугинецкое	1985	144	0,53
Ломовое	1986	44	0,22
Игольско-Таловое	1991	26	0,18
Мыльджинское	1999	–	–
Крапивинское	1999	37	0,03
Урманское	2006	–	–
Майское	2007	–	–
Фестивальное	2007	–	–

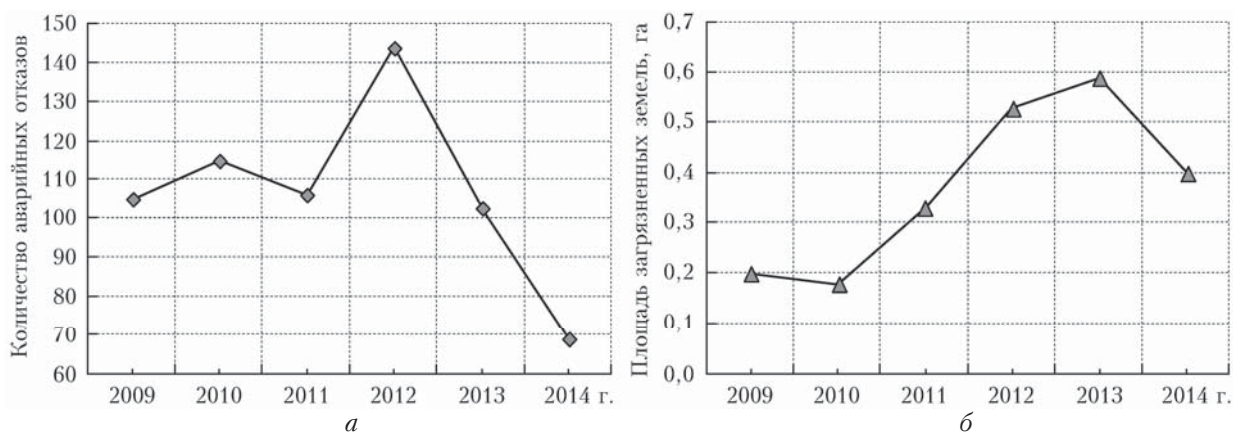


Рис. 4. Количество аварийных отказов (а) и площадь нефтезагрязненных земель (б) на территории Лугинецкого месторождения с 2009 по 2014 г.

Мыльджинского газоконденсатного месторождения в 2013 г. Полученные результаты показывают, что территория Мыльджинского месторождения требует более детального изучения с помощью космических снимков высокого пространственного разрешения для выявления факторов, вызвавших падение индекса в 2013 г. В целом для территорий всех исследуемых месторождений наблюдается возрастание индекса с 2014 г., что свидетельствует о хорошем (неугнетенном) состоянии растительности и улучшении экологической обстановки.

Таким образом, можно установить, что применение данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга состояния окружающей среды нефтедобывающих территорий четырех месторождений Томской области позволило определить угнетенное состояние растительности в 2013 г. на территориях Крапивинского, Лугинецкого и Мыльджинского месторождений, а также выявить улучшение со временем экологического состояния растительности всех исследуемых территорий. Проведен сравнительный анализ вычисленных значений вегетационного индекса растительного покрова месторождений с состоянием растительности фонового участка, в качестве которого выбран Государственный природный заказник Томской области «Оглатский». Выявлено, что состояние растительности территории Урманского месторождения максималь-

но приближено к состоянию растительности фонового участка за период 2013–2015 гг.

Внедрение методов решения экологических задач с помощью данных дистанционного зондирования позволяет проводить мониторинг состояния растительности труднодоступных нефтегазодобывающих территорий Западной Сибири.

1. Алексеева М.Н., Перемитина Т.О., Яценко И.Г. Оценка влияния нефтеразливов на состояние растительного покрова и приземного слоя атмосферы с использованием космических снимков // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 7. С. 606–610.
2. Altunina L.K., Svarovskaya L.I., Alekseeva M.N., Yashchenko I.G. Integrated assessment of anthropogenic contamination of oil-producing territories in Western Siberia // Petrol. Chem. 2014. V. 54, N 3. P. 234–238.
3. Афонин С.В., Белов В.В., Энгель М.В. Анализ региональных спутниковых данных MODIS Products // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 2, № 2. С. 336–342.
4. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.
5. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области / Глав. ред. А.М. Адам; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». Томск: Дельтаплан, 2014. 194 с.

S.K. Kobzar, T.O. Peremitina, I.G. Yashchenko. Analysis of vegetation of oil producing areas in Tomsk region using remote sensing data.

Monitoring of the state of vegetation of oil producing areas of Western Siberia for the period 2010–2015 using thematic products MODIS are carried out. The approach is suggested to assessment of the impact of various factors on the environment areas of oil and gas on the base of remote sensing data by NDVI. Testing of the approach undertaken for the technologically-disturbed areas of four oil fields in Tomsk region – Krapivinsky, Ladyzhensky, Luginetskoye, and Urmanskoye. Additionally, as the background area, the area of the State nature reserve of regional importance “Oglatsky” is studied.