

УДК 504.064

DOI: 10.15372/KhUR2021293

Применение многолетних спутниковых данных для оценки экологической ситуации в районе предприятий нефтегазового комплекса

Т. О. ПЕРЕМИТИНА, И. Г. ЯЩЕНКО

Институт химии нефти СО РАН,
Томск (Россия)

E-mail: pto@ipc.tsc.ru

Аннотация

Рассмотрены возможности применения многолетних спутниковых данных для мониторинга экологической ситуации в районе предприятий нефтегазового комплекса. Исследования проведены на примере территории нефтеперерабатывающего завода – ООО “Томскнефтепереработка” (ТНП). В качестве исходной информации использованы данные спектрорадиометра MODIS за период 2015–2019 гг. Для оценки состояния растительного покрова исследуемой территории ТНП в анализ включены значения усовершенствованного вегетационного индекса EVI (Enhanced Vegetation Index). Установлены минимальные и максимальные значения индекса EVI для исследуемой территории, а также выявлены тенденции увеличения значений индекса с 2018 г., что свидетельствует о процессе восстановления растительного покрова.

Ключевые слова: спутниковые данные, вегетационный индекс, геоинформационные системы, растительный покров, нефтеперерабатывающий завод

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение нефтью наносит ущерб наземным экосистемам, поэтому разработка новых и совершенствование существующих методов обнаружения и картирования поврежденных участков не теряет свою актуальность. В условиях функционирования предприятий нефтегазового комплекса необходимы методики как для количественной оценки существующих масштабов негативного воздействия нефтегазовых предприятий на состояние окружающей среды, так и для разработки мероприятий по рекультивации и обеспечения мониторинга состояния растительного покрова и почвы для выявления утечек углеводородов-загрязнителей на ранней стадии. Таким образом, важной задачей является разработка методики количественной оценки состояния растительного покрова и анализа интегральной реакции экосистем на техногенное воздействие [1].

Современные подходы экологического мониторинга все шире опираются на растущие возможности спутниковых данных, что позволяет применять их в задачах, связанных с изучением состояния растительного покрова [2]. Использование данных спутникового дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) обеспечивает практически непрерывный мониторинг атмосферы, земной и водной поверхностей [3].

Цель работы – проведение анализа состояния растительного покрова в зонах различной удаленности от источника техногенной нагрузки на примере ООО “Томскнефтепереработка” (ТНП).

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общество с ограниченной ответственностью “Томскнефтепереработка” (ТНП) – завод по переработке нефти мощностью 900 тыс. т/год, находится в 20 км восточнее г. Томска (рис. 1),



Рис. 1. Местоположение ООО «Томскнефтепереработка».

юго-западнее с. Семилужки Томской области, на расстоянии 200–250 м севернее нефтеперерабатывающей станции «Семилужки» [4].

Завод строился для переработки сборной нефти Западно-Сибирского региона, поступающей от магистрального нефтепровода через коммерческий узел учета нефти, с целью получения товарных видов нефтепродуктов – бензина газового стабильного, топлива дизельного и топочного мазута.

Хранение сырья и готовой продукции производилось в резервуарном парке нефти и нефтепродуктов. Отгрузка нефтепродуктов осуществлялась в автоцистерны на пункте налива через автоматизированные устройства. Первую продукцию ТНП выпустил в 2008 г., а в 2016 г. ООО «Томскнефтепереработка» было признано банкротом, после чего началась реализация имущества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Спутниковые снимки среднего разрешения сочетают в себе преимущества свободного (бесплатного) доступа к данным и приемлемое для обнаружения изменений состояния растительного покрова пространственное разрешение [5, 6].

Перечисленным выше требованиям к спутниковым данным удовлетворяют данные спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на борту спутников Terra и Aqua [7]. В данной работе использован продукт MOD13Q1, содержащий цифровые слои со значениями вегетационных индексов, представляющих 16-дневные цифровые композиты с пространственным разрешением 250 м [8–10].

Нами проанализированы значения усовершенствованного вегетационного индекса EVI (Enhanced Vegetation Index), который рассчитывается по формуле [11]:

$$EVI = G \frac{(NIR - Red)}{(NIR + C_1 \cdot Red - C_2 \cdot Blue + L)}$$

где NIR, Red и Blue – значения отражательной способности поверхности в ближнем инфракрасном, красном и синем диапазонах спектра; L – поправочный коэффициент, учитывающий влияние почвы; C_1 , C_2 – коэффициенты аэрозольной устойчивости, использующие синий канал для коррекции аэрозольного влияния в красном канале; G – масштабный коэффициент.

Коэффициенты, принятые для алгоритма MODIS EVI [11]: $L = 1$; $C_1 = 6$; $C_2 = 7.5$ и $G = 2.5$. Диапазон значений индекса EVI – от -1 до 1 ;

ТАБЛИЦА 1

Перечень используемых спутниковых данных (2015–2019 гг.) [10]

День года	Месяц	Спутниковые данные
145	Май	MOD13Q1.A2015145.h22v03 – MOD13Q1.A2019145.h22v03
161	Июнь	MOD13Q1.A2015161.h22v03 – MOD13Q1.A2019161.h22v03
177	»	MOD13Q1.A2015177.h22v03 – MOD13Q1.A2019177.h22v03
193	Июль	MOD13Q1.A2015193.h22v03 – MOD13Q1.A2019193.h22v03
209	»	MOD13Q1.A2015209.h22v03 – MOD13Q1.A2019209.h22v03
225	Август	MOD13Q1.A2015225.h22v03 – MOD13Q1.A2019225.h22v03
241	»	MOD13Q1.A2015241.h22v03 – MOD13Q1.A2019241.h22v03
257	Сентябрь	MOD13Q1.A2015257.h22v03 – MOD13Q1.A2019257.h22v03
273	»	MOD13Q1.A2015273.h22v03 – MOD13Q1.A2019273.h22v03

для зеленой растительности индекс изменяется от 0.2 до 0.8.

Цифровые карты со значениями вегетационного индекса EVI были подобраны [8] за каждый 16-дневный цикл на весь период вегетации с 2015 по 2019 гг. (табл. 1).

Продолжительность вегетационного периода в Томской области установлена Приказом Рослесхоза от 10.11.2011 № 472 (ред. от 15.03.2018) “Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов” и длится с 15 мая по 15 октября.

В данной работе, как и в ранее проведенных исследованиях [10], было проанализировано девять 16-дневных циклов за пять лет (т. е. 45 цифровых слоев со значениями индекса EVI) с целью получения количественной оцен-

ки состояния растительного покрова территории ТНП (см. табл. 1).

Анализ многолетней динамики вегетационного индекса EVI и оценка состояния растительного покрова территории вокруг ТНП проводились по апробированной ранее методике для территорий углеводородных месторождений [1, 10]. Методика включает три этапа:

1) На первом этапе выполняется построение зон с различной техногенной нагрузкой в зависимости от удаленности относительно источника воздействия. На рис. 2 показаны две радиальные зоны по отношению к центру территории ТНП. Первая зона – от 0 до 5 км, вторая – от 5 до 10 км.

2) На втором этапе производятся расчет средних значений индекса EVI для каждой зоны по спутниковым данным и построение графиков сезонных циклов индекса EVI растительности исследуемых зон вокруг ТНП. Вычисления выполнены с помощью инструмента “Зональная статистика” геоинформационной системы ArcGis 10.2.2.

3) На третьем этапе проводится интерпретация и анализ полученных значений индекса EVI.

Такой подход позволяет наиболее детально охарактеризовать изменчивость значений индекса EVI, отследить наличие либо отсутствие зависимости значений EVI от удаления относительно источника техногенной нагрузки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено исследование сезонной динамики спектрального индекса EVI за периоды вегетации в 2015–2019 гг. с 25 мая (145-й день в году) по 30 сентября (273-й день в году). В табл. 1 приведен перечень используемых спутниковых данных, по которым проводился расчет значе-

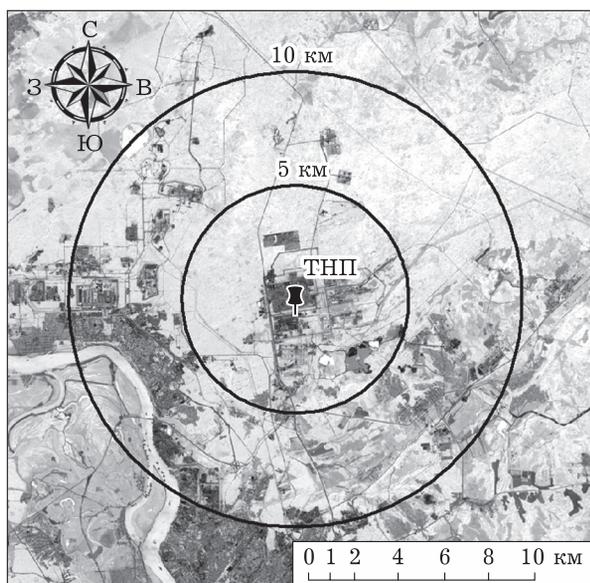


Рис. 2. Фрагмент цифровой карты. ТНП – ООО “Томскнефтепереработка”.

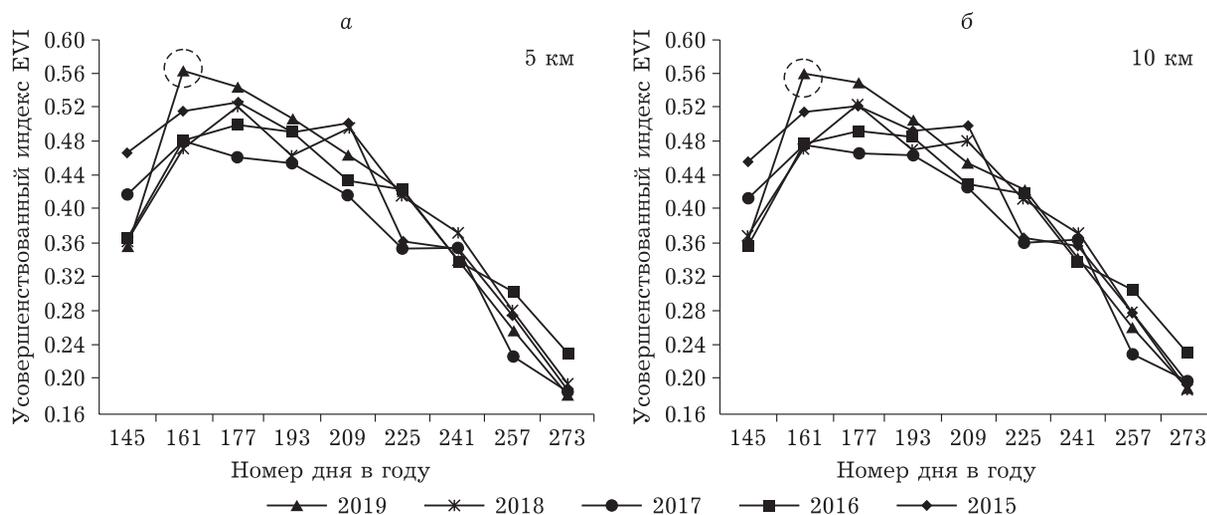


Рис. 3. Сезонный цикл изменения индекса EVI растительности исследуемых зон вокруг ООО «Томскнефтепереработка» (от 0 до 5 км (а), от 5 до 10 км (б)) в 2015–2019 гг.

ний индекса EVI для растительности двух кольцевых зон (см. рис. 2) вокруг ТНП.

На рис. 3 представлена динамика изменений средних значений индекса EVI за рассмотренный пятилетний период в каждой исследуемой зоне. Установлено, что на фоне ожидаемых низких значений индекса EVI в начале и конце вегетационных периодов значение максимальной амплитуды индекса EVI (0.56) наблюдается в зоне радиусом 5 км вокруг ТНП на 161-й день 2019 г.

Следует отметить сходство графиков сезонных циклов значений индекса EVI для обеих зон по виду кривых (парабола); пик значений индекса приходится в основном на 161-й день года, при этом значения индекса EVI в конце вегетации ниже его значений в начале (см. рис. 3). По полученным данным, в зоне радиусом 5 км (см. рис. 3, а) минимальное значение индекса EVI (0.1817) соответствует 273 дню (30 сентября) в

2019 г., а максимальное (0.5645) – 161 дню (10 июня) в 2019 г. Аналогично для зоны 10 км (см. рис. 3, б) наименьшее и наибольшее значения индекса EVI соответствуют 273 и 161 дню в 2019 г. – 0.1912 и 0.5598 соответственно.

Анализ сезонных циклов изменчивости EVI показал (см. рис. 3), что для растительного покрова зон с различным радиусом относительно ТНП наблюдается одновременное начало развития вегетации, но для растительного покрова зоны радиусом 5 км происходит более раннее завершение вегетационного периода для каждого рассматриваемого года. Таким образом, можно предположить, что воздействие ТНП проявляется в сокращении вегетационного периода растительных сообществ, что является важным результатом исследования изменчивости растительного покрова при техногенном воздействии.

На рис. 4 приведены графики изменения среднегодовых значений индекса EVI за вегетационные периоды для зон с различным радиусом относительно ТНП, где в период с 2017 по 2019 гг. отмечается рост значений индекса (в среднем 0.3749–0.4045), а в 2015 и в 2016 гг. наблюдается значительное снижение значений EVI для каждой из исследуемых зон – в среднем до 0.3749.

Отсутствие рекультивации и мероприятий по улучшению земель и охране почв (в связи с банкротством ООО «Томскнефтепереработка» в 2016 г.) могло повлиять на резкое снижение объема биомассы за время вегетационных периодов 2016 и 2017 гг. и, соответственно, получение низких значений индекса EVI. Следует отме-

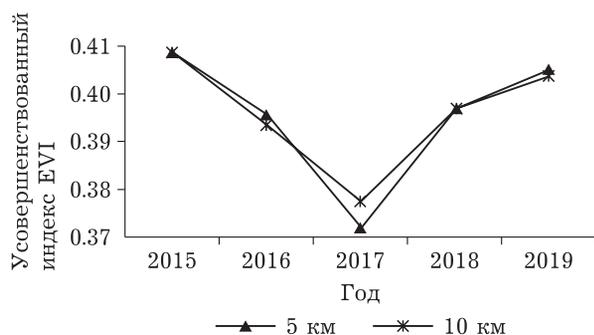


Рис. 4. Изменения среднегодовых значений индекса EVI за вегетационные периоды исследуемых зон вокруг ООО «Томскнефтепереработка».

тить однотипную динамику изменения EVI для зон с различным радиусом удаленности относительно территории ТНП (см. рис. 4). Видно, что растительность обеих зон вокруг нефтеперерабатывающего предприятия постепенно восстанавливается (с 2018 г.), но пока не достигла своего естественного состояния. Дальнейшие мониторинговые исследования будут способствовать определению временных границ процесса полного ее восстановления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С применением спутниковых данных проведен анализ сезонных циклов значений вегетационного индекса EVI, получены количественные оценки состояния растительного покрова в различных зонах удаления от источника техногенного воздействия – нефтеперерабатывающего завода (ООО “Томскнефтепереработка”).

Анализ динамики изменения средних значений усовершенствованного индекса EVI позволил определить минимальные и максимальные значения индекса для исследуемых территорий, а также выявить тенденции увеличения его значений с 2018 г., что свидетельствует о процессе восстановления растительного покрова.

Примененная методика количественной оценки состояния растительного покрова территорий, основанная на использовании данных дистанционного зондирования, позволяет анализировать состояние растительности, проводить картографирование. Это оказывает значительную помощь в своевременной оценке экологической ситуации и принятии решений в устранении и профилактике загрязнения окружающей среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Крицук С. Г., Горный В. И., Калабин Г. В., Латыпов И. Ш. Закономерности сезонных циклов вегетационного индекса экосистем в районе Сорского горно-металлургического комплекса // *Соврем. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса*. 2013. Т. 10, № 1. С. 228–237.
- 2 Перемитина Т. О., Яценко И. Г. Дистанционный мониторинг экологического состояния нефтедобывающих территорий Западной Сибири // *Химия уст. развития*. 2019. Т. 27, № 1. С. 53–57.
- 3 Бондур В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // *Исслед. Земли из космоса*. 2010. Т. 6, № 1. С. 3–17.
- 4 Долина Л. Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод. Днепропетровск: Континент, 2005. 296 с.
- 5 Воронина П. В., Мамаш Е. А. Классификация тематических задач мониторинга сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования MODIS // *Вычислит. технологии*. 2014. Т. 19, № 3. С. 76–102.
- 6 Лупян Е. А., Барталев С. А., Савин И. Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // *Аэрокосмический курьер*. 2009. № 6. С. 47–49.
- 7 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): About [Электронный ресурс]. URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/> (дата обращения: 15.12.2020).
- 8 EARTHDATA, MOD13Q1 v006, MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid [Электронный ресурс]. URL: <https://pdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/> (дата обращения: 08.12.2020).
- 9 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.
- 10 Перемитина Т. О., Яценко И. Г. Анализ вегетационного индекса растительности EVI в зонах различной удаленности от Мылдзинского месторождения Томской области // *Оптика атмосферы и океана*. 2020. Т. 33, № 6. С. 492–496.
- 11 Didan K., Munoz B., Solano R., Huete A. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series) [Электронный ресурс]. URL: https://vip.arizona.edu/documents/MODIS/MODIS_VI_UsersGuide_June_2015_C6.pdf (дата обращения: 25.03.2021).