Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса

Ю.М. Полищук, В.А. Хамедов, В.В. Русакова

*Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий
г. Ханты-Мансийск, 628011, Россия
E-mail: XamedovVA@uriit.ru*

Исследование воздействия сжигания попутного газа на нефтяных месторождениях на лесную растительность проведено с использованием вегетационного индекса NDVI, определяемого по космическим снимкам. Разработаны методические вопросы дистанционных исследований воздействия факельного сжигания попутного газа на лесную растительность на основе NDVI. Исследования проведены на территории Приобского месторождения в Западной Сибири. Для проведения исследований сформирована коллекция безоблачных снимков Landsat за период 1988–2014 гг. На исследованной территории выбраны три тестовых участка, на которых располагается 8 факелов. На территории каждого тестового участка определены от 15 до 24 контрольных точек (всего 57), в которых определялись значения вегетационного индекса. Исследование зависимости индекса от расстояния до факельной установки показало наблюдающееся в среднем уменьшение значений индекса по мере приближения к факелу, что может служить свидетельством угнетения состояния лесной растительности в результате воздействия продуктов сжигания попутного газа. Для проведения исследований динамики изменения состояния лесорастительного покрова изучены линейные тренды зависимости вегетационного индекса от расстояния до факельных установок на всех исследованных тестовых участках. Установлено, что коэффициенты трендов имеют наибольшие значения в годы интенсивной нефтедобычи, сопровождающейся большими объемами сжигания попутного газа на месторождении.

Ключевые слова: дистанционные исследования, экологические воздействия, факельное сжигание газа, нефтедобывающие территории, вегетационный индекс, Западная Сибирь

*Одобрена к печати: 25.12.2015
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-61-69*

Введение

На территории Ханты-Мансийского автономного округа Югры по официальным данным на 2014 год действует 693 факела по сжиганию попутного нефтяного газа (ПНГ). За счет факельного сжигания газа в атмосферу выбрасывается большой объем валовых выбросов загрязняющих веществ. Государственное регулирование в сфере охраны атмосферного воздуха направлено на снижение выбросов в атмосферу нефтегазодобывающих территорий за счет увеличения доли утилизации ПНГ до 95%. Для достижения поставленной цели принимаются комплексы мер, в разработке которых необходимо учитывать знания о воздействии факельного сжигания газа на природную среду.

Для оценки воздействия факельного сжигания газа на нефтяных месторождениях на растительность наиболее обоснованным в настоящее время является подход, основанный на биоиндикационных исследованиях. Показано (Токарева, Полищук, 2011), что по мере удаления от источников выбросов степень воздействия факельного сжигания на древостои постепенно ослабевает. Однако в связи с труднодоступностью большей части нефтедобывающих территорий Ханты-Мансийского автономного округа применение биоиндикационных методов оказывается не всегда возможным. Поэтому исследование воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров невозможно без использования данных дистанционного зондирования Земли. Как показано в работах (Кокорина и др., 2009),

методы дистанционного исследования позволяют достаточно эффективно изучать воздействия сжигания попутного газа на лесорастительный покров.

В (Токарева, Полищук, 2013) проведен анализ последствий факельного сжигания газа при учете ограниченного числа факелов на территории Приобского месторождения. Представляет интерес изучение динамики воздействия факельного сжигания факелов на этой территории. В связи с этим целью настоящей работы явилось изложение результатов дистанционного исследования воздействия загрязнения атмосферы в результате сжигания попутного газа в факельных установках на лесорастительный покров с использованием вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс) на примере Приобского месторождения, одного из крупнейших в Западной Сибири.

Методические вопросы проведения исследований

Для исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров с использованием вегетационного индекса выбран участок территории Приобского месторождения, на котором ранее были проведены биоиндикационные исследования (Кокорина и др., 2009).

Вегетационный индекс NDVI рассчитан с использованием космических снимков среднего пространственного разрешения с КА Landsat. Подбор космических снимков на территорию исследования произведен на сайте <http://glovis.usgs.gov/> геологической службы США. Для проведения исследований была подготовлена коллекция безоблачных космических снимков Landsat-7 (июль 2014 г.), Landsat-5 (июнь 2010 г.), Landsat-5 (июль 2009 г.) и Landsat-4 (июль 1988 г.), на которых были определены три тестовых участка (ТУ) с набором контрольных точек.

На *рис. 1* представлена карто-схема территории ТУ-1 с обозначенными на ней местоположением факельной установки и 18 контрольных точек, для которых были проведены разновременные измерения значения индекса NDVI. Контрольные точки для каждого тестового участка подобраны с учетом характеристик лесных участков в зоне предполагаемого воздействия факельных установок. Нумерация контрольных точек осуществлялась в зависимости от удаления от факельной установки (ФУ). Расстояние от факельной установки до самой удаленной 18-ой контрольной точки на ТУ-1 составило 8440 м.

На *рис. 2* представлен фрагмент картографического отображения характеристик лесного участка и мест расположения контрольных точек для ТУ-1. Как видно на рисунке, все контрольные точки расположены в границах однотипных по составу участков, соответствующих лесным выделам мелколиственных пород деревьев с одинаковой полнотой древостоя. Породный состав участков леса на *рис. 2* обозначен цветом. Полнота древостоя, характеризующая сомкнутость лесного покрова, указана для соответствующих участков. Например, обозначение Б/07 соответствует участку березовых насаждений с полнотой древостоя 0,7. Таким образом, при выборе контрольных точек соблюдены условия однородности характеристик лесов для обеспечения возможности исследования временной зависимости показателей интенсивности фотосинтеза.

Рис. 1. Карто-схема размещения контрольных точек на территории ТУ-1

Рис. 2. Картографическое отображение характеристик лесного участка на ТУ-1

Дадим характеристику остальных тестовых участков. На территории ТУ-2 имеются три факельные установки и определено 24 контрольные точки. На ТУ-3 расположены четыре факельные установки и определено 15 контрольных точек. Максимальные удаления контрольных точек от факельных установок на ТУ-2 и ТУ-3 составило 6095 и 9808 м соответственно. Аналогично *рис. 2* были составлены карты-схемы для территорий ТУ-2 и ТУ-3 с отображением местоположений ФУ и контрольных точек.

В выбранных контрольных точках на тестовых участках определяются значения индекса NDVI, используемые в нашей работе для анализа воздействия факельного сжигания на лесорастительный покров. NDVI – один из самых распространенных и широко используемых на практике вегетационных индексов, вычисляемый по известной формуле $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, где NIR и RED – интенсивности сигналов в ближней инфракрасной и в красной областях спектра соответственно.

Результаты исследования и их анализ

Результаты определения индекса в контрольных точках отображены в картографическом виде для каждого тестового участка. Для иллюстрации на *рис. 3* представлен картографический слой значений индекса NDVI на ТУ-1. По этим картам в контрольных точках определялись значения индекса, которые использовались в дальнейшем для проведения исследований.

Рис. 3. Картографическое отображение значений вегетационного индекса NDVI на ТУ-1

В *табл. 1* для иллюстрации приведены значения индекса NDVI, определенные в контрольных точках на ТУ-1 по снимкам 1988, 2009, 2010 и 2014 гг. Как видно из *табл. 1*, по данным 1988 года изменения значений индекса в разных контрольных точках, находящихся на различном удалении от ФУ на ТУ-1, малы (не превышают 5 %) и не проявляют зависимость от расстояния до факела, что показывает практическое отсутствие техногенных воздействий на состояние лесной растительности. Действительно, нефтедобыча на Приобском месторождении в 1988 г. еще не велась.

Таблица 1. Измеренные значения NDVI на ТУ-1

Контрольные точки	Расстояние от факела, м	Значение индекса NDVI			
		1988	2009	2010	2014
		0,62	0,51	0,56	0,56
2	1000	0,60	0,56	0,49	0,53
3	1811	0,60	0,53	0,50	0,54
4	1841	0,60	0,56	0,55	0,54
5	1925	0,62	0,56	0,58	0,55
6	2008	0,60	0,55	0,51	0,46
7	2112	0,62	0,64	0,57	0,54
8	2443	0,62	0,66	0,57	0,55
9	2955	0,62	0,63	0,54	0,58
10	3148	0,60	0,61	0,56	0,60
11	3808	0,60	0,61	0,56	0,56
12	4573	0,62	0,65	0,59	0,56
13	5139	0,63	0,70	0,60	0,59
14	5802	0,60	0,67	0,60	0,51
15	6047	0,60	0,68	0,62	0,59
16	6393	0,62	0,66	0,61	0,60
17	7961	0,62	0,66	0,58	0,59
18	8440	0,6	0,67	0,6	0,55

Данные *табл. 1* для 2009, 2010 и 2014 гг. показывают, что в эти годы в результате интенсивной нефтедобычи на месторождении сжигались большие объемы попутного газа, и воздействие продуктов сгорания газа на лесную растительность приводило к угнетению состояния древостоя. Как видно из таблицы, значения индекса в 2009, 2010 и 2014 гг. заметно уменьшаются по мере приближения контрольных точек к факельной установке. Аналогичные результаты получены и на ТУ-2 и ТУ-3.

Проведем анализ зависимости значений индекса NDVI от расстояния до факела. На *рис. 4* представлены графики этой зависимости, полученные по данным для начального 1988г. и конечного 2014 г. годов исследований на ТУ-1. Как видно из графиков, изменения величины индекса (y) в зависимости от расстояния до факела (x) для каждого года исследований допускают аппроксимацию эмпирической зависимости линейной функцией вида $y = a \times x + b$, где a – коэффициент линейного тренда, b – отрезок, отсекаемый на оси ординат.

Анализ графика на *рис. 4* позволяет сформулировать следующие выводы. Линия тренда 1988 г. показывает отсутствие зависимости индекса от расстояния до факела и, следовательно, отсутствие воздействия сжигания газа. Это может объясняться тем, что добыча в этот период на месторождении не производилась, как уже было отмечено выше. Линия тренда для 2014 г., отображенная на графике (*рис. 4*), показывает уменьшение в среднем значений индекса по мере приближения к ФУ. Это уменьшение NDVI означает ухудшение состояния лесорастительного покрова при приближении к факелу.

Рис. 4. Зависимость значений индекса NDVI от расстояния от контрольных точек до факельной установки на ТУ-1

Аналогичные результаты получены и при анализе данных на других тестовых участках. Представляет интерес изучить динамику коэффициента тренда по данным на всех трех ТУ. Семейство графиков временной зависимости значений этого коэффициента для каждого тестового участка приведено на *рис. 5*, на котором жирной линией показана усредненная кривая этой зависимости от времени, построенная на основе вычисления средних значений коэффициента тренда по трем тестовым участкам.

Как видно из рисунка, среднее значение коэффициента тренда в 1988 году имеет величину, близкую к нулю, что может быть объяснено отсутствием загрязнения атмосферного воздуха вследствие отсутствия нефтедобычи в указанный период времени. Наиболее высокие значения коэффициента тренда характерны для 2009 г. Это означает, что в этот период сжигался большой объем попутного газа, в результате чего проявилось сильное угнетение лесорастительного покрова, что отражается в уменьшении значений индекса.

После 2009 г. на усредненной кривой (*рис.5*) наблюдается заметный спад коэффициента тренда, что может быть объяснено сокращением уровня воздействия сжигания

газа на лесорастительный покров на территории месторождения. Полученные результаты подтверждают официальную информацию о снижении в целом по округу объемов сжигания ПНГ. Объемы факельного сжигания газа с 2007 г. к 2014 г. снизились с 7,8 млрд. м³ до 2,29 млрд. м³. При этом валовые выбросы снизились с 3033 тыс.т до 1466 тыс.т. Доля утилизации ПНГ приближается к уровню, установленному Правительством РФ, и составляет в настоящее время 93,2%.

Рис. 5. Временная зависимость коэффициента линейного тренда

Заключение

В статье представлены методические вопросы дистанционных исследований воздействия факельного сжигания попутного газа на нефтяных месторождениях на лесную растительность на основе определения вегетационного индекса NDVI по космическим снимкам Landsat с применением разработанной системы мониторинга лесов (Хамедов и др., 2013). Исследования проведены на территории Приобского месторождения, одного из крупных месторождений в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Для проведения исследований сформирована коллекция безоблачных снимков за период 1988–2014 гг. На исследованной территории выбраны три тестовых участка, на которых располагается 8 факелов. На территории каждого тестового участка определены от 15 до 24 контрольных точек (всего 57), в которых определялись значения вегетационного индекса.

Исследование зависимости индекса от расстояния до факельной установки показало наблюдающееся в среднем уменьшение значений индекса по мере приближения к факелу, что может служить свидетельством угнетения состояния лесной растительности в результате воздействия продуктов сжигания попутного газа. Для проведения исследований динамики изменения состояния лесорастительного покрова изучены линейные тренды зависимости вегетационного индекса от расстояния до факельных установок на исследованных тестовых участках. Установлено, что коэффициенты трендов имеют наибольшие значения в годы интенсивной нефтедобычи, сопровождающейся большими объемами сжигания попутного газа на месторождении. Обнаружено заметное снижение значений коэффициента тренда в 2014 г., показывающее сокращение уровня негативного воздействия факельного сжигания газа, что можно объяснить снижением объемов сжигания попутного газа в указанном году в результате реализации мероприятий по утилизации попутного газа на нефтяных месторождениях в последние годы.

Заметим, что полученные результаты относятся к участкам мелколиственного леса. Для темнохвойных насаждений требуется проведение дополнительных исследований.

Литература

1. *Кокорина Н.В., Касаткин А.М., Полищук Ю.М.* Биоиндикация атмосферного загрязнения при сжигании попутного газа в факелах на нефтяных месторождениях в среднетаежной зоне Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2009. № 3. С. 65–72.
2. *Токарева О.С., Полищук Ю.М.* Оценка экологического риска воздействия атмосферного загрязнения на растительность // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 8. С. 717–721.
3. *Токарева О.С., Полищук Ю.М.* Сравнительный анализ результатов дистанционного определения вегетационных индексов и данных биоиндикационных исследований в задачах экологического мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 2. С. 260–267.
4. *Хамедов В.А., Полищук Ю.М., Русакова В.В.* Оценка состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса ХМАО // Пятая Всероссийская конференция «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве». Москва, 22–24 апреля 2013г. М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С. 314–318.

Remote studies of gas flaring impact on forest cover in oil-producing areas using vegetation index

Yu.M. Polishchuk, V.A. Khamedov, V.V. Rusakova

Ugra Research Institute of Information Technologies

Khanty-Mansiysk 628011, Russia

E-mail: XamedovVA@uriit.ru

Research on the impact of gas flaring in oil fields on forest vegetation was conducted using vegetation index NDVI determined from satellite data. Methodical problems of remote studies of gas flaring impact on forest vegetation were addressed on the basis of NDVI. Studies were carried out in the Priobskoe Field in Western Siberia. A collection of cloudless Landsat images for the period of 1988–2014 was created for the research purposes. In the study area, three test sites with 8 torches were selected. On the territory of each test site, 15 to 24 control points (total 57) were defined for calculating NDVI. Analysis of the dependence of the index on the distance to the torch on the average showed a decrease of index values near the torch, which can be an evidence of forest vegetation oppression due to the effect of gas flaring products. In order to study the dynamics of changes in the state of forest cover, linear NDVI trends depending on the distance to the torches were studied in all investigated test sites. It was found that the trend coefficients are greater in the years of intensive oil production accompanied by larger volumes of gas flaring in the oil field.

Keywords: remote studies, environmental impact, gas flaring, oil-producing areas, NDVI, Western Siberia

Accepted: 25.12.2015

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-61-69

References

1. Kokorina N.V., Kasatkin A.M., Polishchuk Yu.M., Bioindikatsiya atmosfernogo zagryazneniya pri szhiganii poputnogo gaza v fakelakh na neftyanykh mestorozhdeniyakh v srednetaezhnoi zone Zapadnoi Sibiri (Bioindication of air pollution from of gas flaring in oil fields of medium taiga zone of Western Siberia), *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, No. 3, pp. 65–72.
2. Tokareva O.S., Polishchuk Yu.M., Otsenka ekologicheskogo riska vozdeistviya atmosfernogo zagryazneniya na rastitel'nost' (Environmental risk assessment of air pollution effects on vegetation), *Optika atmosfery i okeana*, 2011, Vol. 24, No. 8, pp. 717–721.
3. Tokareva O.S., Polishchuk Yu.M., Sravnitel'nyi analiz rezul'tatov distantsionnogo opredeleniya vegetatsionnykh indeksov i dannykh bioindikatsionnykh issledovaniy v zadachakh ekologicheskogo monitoringa (Comparative analysis of remote determination of vegetation indices and data bioindicative research in problems of environmental monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 2, pp. 260–267.
4. Khamedov V.A., Polishchuk Yu.M., Rusakova V.V., Otsenka sostoyaniya lesnykh ekosistem v usloviyakh vozdeistviya neftegazovogo kompleksa KhMAO (Assessment of forest ecosystems under the impact of oil and gas complex KhMAO), *Pyataya Vserossiiskaya konferentsiya "Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii i lesnom khozyaistve"* (5th All-Russia Conference "Aerospace Methods and GIS Technology in Forest Science and Forestry"), Moscow, 22–24 April 2013, Moscow: TsEPL RAN, 2013, pp. 314–318.