Андрей Владимирович СОРОМОТИН[1]
Лея Витальевна БРОДТ[2]

УДК 528.873, 504.064.2.001.18

МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ДАННЫМ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СЪЕМКИ LANDSAT

[1] доктор биологических наук, директор НИИ экологии и РИПР,
Тюменский государственный университет
a.v.soromotin@utmn.ru

[2] магистрант программы «Геоэкология нефтегазодобывающих регионов»,
Тюменский государственный университет
leya.brodt@mail.ru

Аннотация

Обосновывается возможность использования разновременных цифровых космических снимков для оценки состояния природной среды в районах нефтегазодобычи в притундровых лесах Западной Сибири. В статье представлены алгоритм и результаты расчетов нормализованного вегетационного индекса (NDVI) по данным красного (0,6-0,7 мкм) и ближнего ИК (0,7-1,0 мкм) диапазонов многозональной съемки Landsat 5,7 и 8 территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на различных этапах освоения. Тематическое дешифрирование проводилось в программном комплексе ArcGIS 10.0 с выделением различных типов поверхности, расчет индекса осуществлялся в ПК ENVI 4.8. На примере двух ключевых участков проанализирована территориальная и временная динамика растительного покрова в период с 2001 по 2013 гг. Показано, что максимальное негативное воздействие оказывается на этапе строительства объектов инфраструктуры в первую очередь за счет вырубки лесов. Естественные ландшафты засыпаются минеральным грунтом,

Цитирование: Соромотин А. В. Мониторинг растительного покрова при освоении нефтегазовых месторождений по данным многозональной съемки Landsat / А. В. Соромотин, Л. В. Бродт // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 1. С. 37-49.
DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-1-37-49

© ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет

почвенный покров минерализуется. После завершения строительства начинаются восстановление растительного покрова за счет зарастания травянистой и кустарниковой растительностью минерализованных поверхностей и песчаных отсыпок. При изучении масштабов и скорости деградационно-восстановительных процессов в растительном покрове при техногенном воздействии для корректных сравнений необходимо проводить расчет средневзвешенных значений NDVI (по выделенным типам поверхностей). Полученные значения NDVI для изученных типов поверхностей могут быть использованы для анализа растительного покрова в лесотундровой зоне Западной Сибири. Величины значений нормализованного относительного индекса растительности находится в положительной логарифмической зависимости сильной степени от лесистости изученной территории.

Ключевые слова

Landsat, NDVI, лесотундра, Западная Сибирь, растительность, воздействие нефтегазодобычи, деградационно-восстановительные процессы, Уренгойское месторождение.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-1-37-49

Введение

В настоящее время основными видами хозяйственной деятельности в арктической зоне Западной Сибири является добыча углеводородного сырья и пастбищное оленеводство. При освоении месторождений техногенному воздействию подвергаются огромные территории тундры и притундровых лесов, выполняющих важнейшую функцию защиты природных объектов в криолитозоне и являющихся основными кормовыми угодьями северного оленя.

Установлено, что деградация растительного покрова, связанная с добычей нефти и газа в условиях севера Западной Сибири, становится основным фактором формирования техногенных песчаных пустошей и развития современных эоловых форм рельефа [12]. Освоение и разведка новых месторождений нефти и газа, строительство объектов инфраструктуры промыслов и транспортных магистралей приводит к деградации и снижению качества пастбищных земель [1, 2, 4, 7].

Известно, что характер и степень техногенного воздействия на окружающую природную среду при нефтегазодобыче зависят от этапа разработки месторождений: разведка, строительство, добыча и ликвидация [11]. Например, анализ состояния растительного покрова Тазовского полуострова показал, что 80% нарушений происходят на стадиях разведочного бурения и строительства нефтегазовых объектов [9].

Традиционные геоботанические методы оценки состояния растительного покрова требуют значительных логистических затрат на организацию проведения полевых работ. Это обстоятельство служит основанием для разработки дистанционных приемов анализа тенденций состояния растительности и количественного учета нарушенных земель. Одним из таких методов является расчет

вегетационного индекса NDVI [3] по многоканальным космоснимках. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормализованный относительный индекс растительности, относительно простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Выбор именно этого индекса объясняется тем, что он может быть рассчитан для многоканальных снимков любого разрешения и дает достаточную информацию по состоянию растительного покрова на изучаемой территории. Методика оценки хозяйственной деятельности на основе расчета вегетационных индексов по цифровым космоснимкам показала высокую эффективность на примере месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом [6], на территориях геологоразведочных скважин в Ненецком АО [8] при анализе функциональной активности лесов [14], для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения [15], при оценке изменений тундровой и лесотундровой растительности в районах нефтегазодобычи ЯНАО [9].

Несмотря на активное использование NDVI как наиболее информативного вегетационного индекса при различных видах техногенеза, теоретическое обоснование и методики дистанционного мониторинга состояния притундровых лесов Западной Сибири на различных этапах освоения нефтегазовых месторождений проработаны недостаточно, что определяет актуальность нашего исследования. Задачи исследования:

— рассчитать значения NDVI для различных типов поверхности лесотундры Западной Сибири на примере Пуровского района ЯНАО;

— на примере Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) установить динамику состояния растительности на двух основных этапов освоения — строительство инфраструктуры и добыча углеводородов.

Материалы и методы исследования

Для изучения состояния растительности нами было подобрано два ключевых участка на территории Уренгойского НГКМ, расположенного в лесотундровой зоне и характеризующегося чередованием типично лишайниково-кустарничковых тундр с редкостойными лиственничными лесами и торфяными болотами (рис. 1). Первый участок площадью 297 км^2 находится на севере месторождения в междуречье рек Табъяха и Арка-Табъяха. В период наблюдений (1988-2013 гг.) на его территории происходило как строительство объектов, так и их последующая эксплуатация. Временной ряд полученных изображений позволяет оценить фоновое состояние растительного покрова до начала строительства объектов инфраструктуры, после завершения строительства и на этапе добычи углеводородного сырья. Второй участок площадью 1 230 км^2 — в южной части месторождения. Строительство на этом участке велось в течение всего срока наблюдений с 2001 по 2013 гг. В стадию добычи территория вводилась фрагментарно.

В связи с тем что максимум вегетации растений на данной территории приходится на конец июля — начало августа, нами были отобраны 4 разновремен-

ных мультиспектральных изображений многозональных космических снимков Landsat 5,7 и 8 с пространственным разрешением 15-30 м на пиксель в период с 1988 по 2013 гг. с разбросом дат съемки не более 10 дней. Для приведения снимков разных спутниковых систем к единому знаменателю и исключению влияния атмосферы проводилась радиометрическая и атмосферная коррекции для рабочих каналов с помощью модуля FLAASH в ПК ENVI.

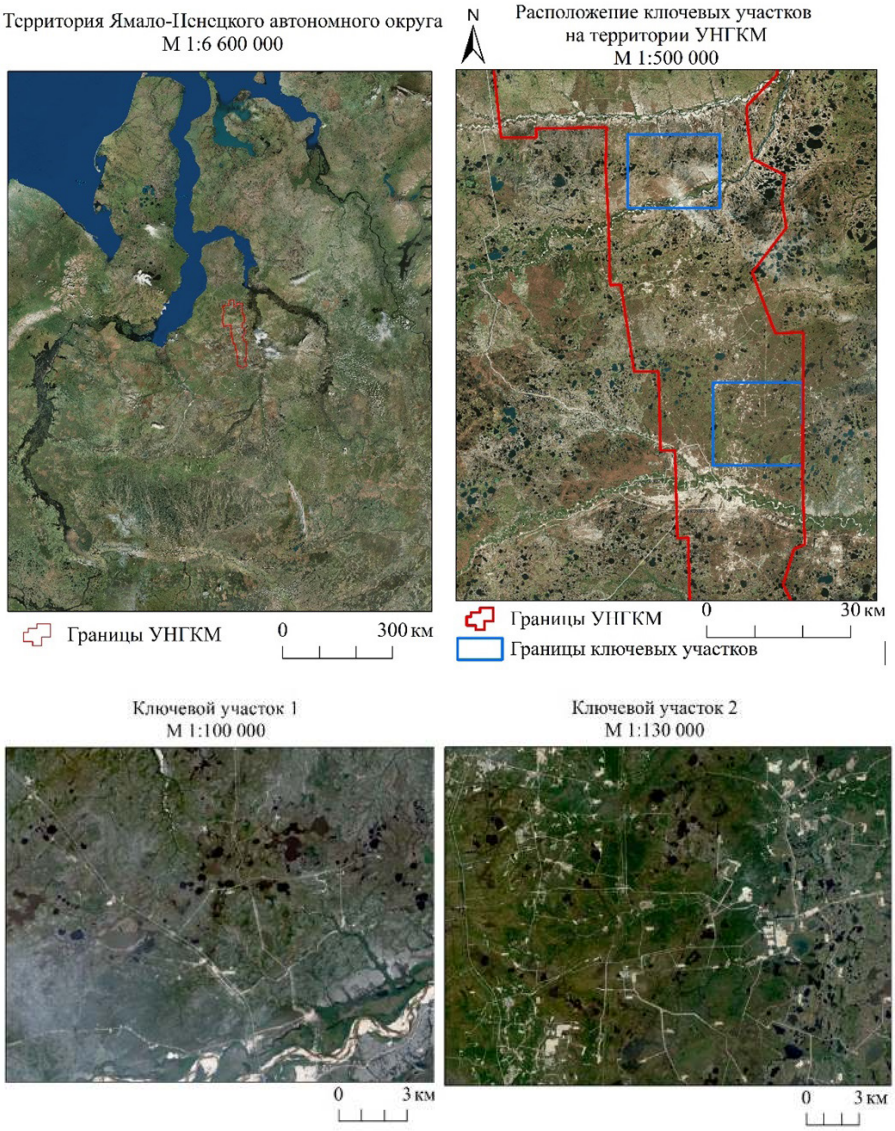

Рис. 1. Схема расположения Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (УНГКМ) и ключевых участков на его территории

Fig. 1. The layout of the Urengoy oil and gas condensate field and the key sections on its territory

Анализ снимков и расчет индекса проводился в следующем порядке:

— обработка космических снимков для уменьшения влияния атмосферы и различий между спутниковыми системами [17];

— объединение трех каналов: 3,2 и 1 для снимков Landsat 5,7 и 4, 3 и 2 для снимков Landsat 8. При слиянии каналов видимого диапазона объекты выглядят естественным образом [5];

— экспертное тематическое дешифрирование в программном комплексе ArcGIS 10.0 с выделением различных типов поверхности на основе фотоматериалов и геоботанических описаний ключевых участков с точностью 300 м;

— расчет вегетационного индекса в ПК ENVI 4.8 для различных типов поверхности по формуле [16, 13]:

$$NDVI = (NIR–RED)/(NIR+RED),$$

где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра (0,7-1,0 мкм), RED — отражение в красной области спектра (0,6-0,7 мкм);

— построение изображений поверхности на основе рассчитанных значений индекса;

— расчет площадей выделенных категорий поверхности на разновременных изображениях NDVI;

— расчет средневзвешенного значения NDVI на каждом участке для разных этапов освоения месторождения.

Результаты и обсуждение

В результате тематической обработки полученных снимков нами были получены значения NDVI для различных типов поверхности исследуемых участков Уренгойского НГКМ и построены цветные изображения с разбивкой на 5 градаций (таблица 1, рис. 2).

Таблица 1

Значение вегетационного индекса NDVI для территории лесотундровой зоны

Table 1

The NDVI value for the forest-tundra zone

Значение NDVI	Тип поверхности
–1-(–0,1)	Водные объекты
0-0,2	Минеральный грунт (песок)
0,21-0,4	Минерализованная почва
0,41-0,6	Мохово-лишайниковое редколесье
0,61-0,8	Пойменные и лиственничные леса

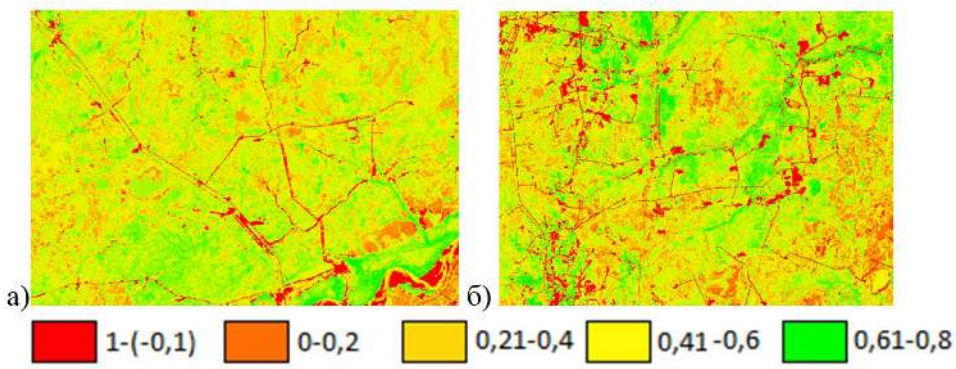

Рис. 2. Изображение поверхности после расчета NDVI
а) территория 1 ключевого участка — М 1:100 000, 2013 г.;
б) территория 2 ключевого участка — М 1:130 000, 2013 г.

Fig. 2. Surface image after calculation of NDVI
a) the territory of 1 key site — scale 1:100 000, 2013;
b) the territory of the 2 key site — scale 1:130 000, 2013.

В таблице 1 представлены значения вегетационного индекса для лесотундровой зоны, полученные при анализе структуры растительности и в соответствии с рассчитанным показателем. На данных участках антропогенные объекты представлены территориями с минеральным грунтом (песок), мохово-лишайниковое редколесье характеризуется отдельно стоящими лиственницами среди лишайниково-зеленомошного и беломошного массивов. Леса на данной территории в основном представлены лиственничниками с примесью березы и густым ивняком в поймах рек.

Изучение разновременных данных ДЗЗ по первому ключевому участку показало, что до 1988 г. техногенное воздействие ограничилось одним коридором коммуникаций — автодорогой и трубопроводом, занимающих не более 10% территории. Средневзвешенное значение NDVI составило 0,55 и может приниматься за исходное. В 1999 г. начинается строительство первой кустовой площадки и автодороги к ней. Период наиболее интенсивной застройки приходится на 2001-2004 гг. и характеризуется наиболее низким средневзвешенным значением NDVI, составляющим 0,38. В течение всего строительного этапа наблюдалось сокращение лесопокрытых земель на 38% вследствие вырубок под объекты нефтегазодобычи, значительно возросли площади с минеральным грунтом и минерализованным почвенным покровом на 130% и 49% соответственно (рис. 3а).

По мере ввода объектов в эксплуатацию и перехода к этапу добычи (ориентировочно в 2004 г.) происходит восстановление растительного покрова в первую очередь за счет естественного зарастания аборигенной травянистой растительностью техногенных пустошей, появления ивово-березовых молодняков и подроста лиственницы. Значение средневзвешенного NDVI возрастает до 0,43. Анализ динамики соотношение выделенных категорий поверхностей показал,

что в период с 2004 по 2013 гг. площадь минерализованных почв сократилась на 32%, а площадь лесов возросла на 24% (рис. 3б).

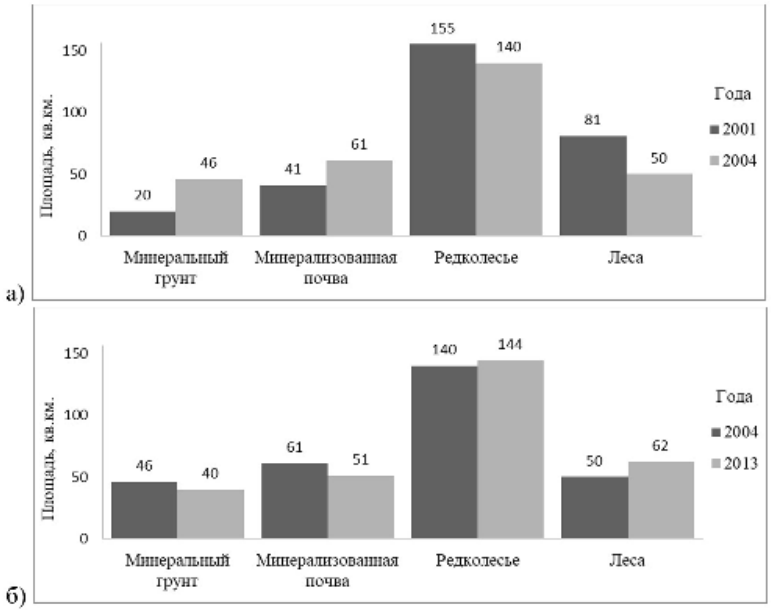

Рис. 3. Динамика растительного покрова на 1-м участке, рассчитанная на основе значений NDVI: а) на этапе строительства; б) на этапе эксплуатации.

Fig. 3. Dynamics of vegetation cover on the 1st section, calculated on the basis of NDVI values; a) during the construction phase; b) during the operation phase.

Анализ связи разновременных значений NDVI с лесистостью территории (лесопокрытые земли) первого участка показал значительную положительную логарифмическую зависимость между этими показателями (рис. 4).

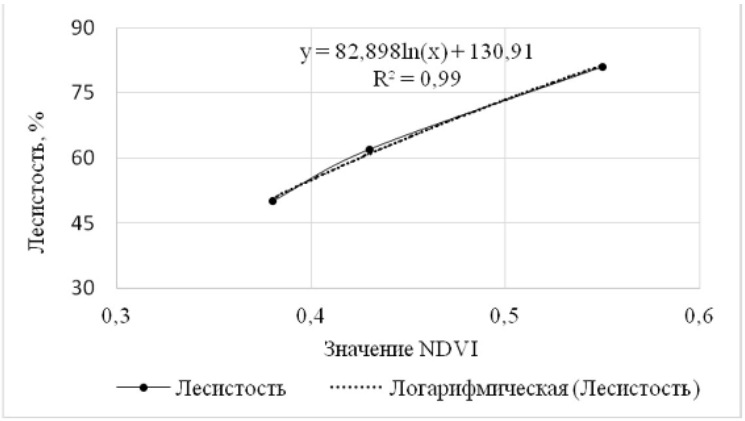

Рис. 4. Зависимость значений NDVI от лесистости территории 1-го участка в период с 2001 по 2013 гг.

Fig. 4. Dependence of the NDVI values on the forest cover of the 1st site in the period from 2001 to 2013

Анализ разновременных космоснимков по второму ключевому участку показал, что выбранный участок характеризуется постоянно возрастающей техногенной нагрузкой. Обустройство месторождения началось в 80-х гг. прошлого века. Нами проанализирован период наиболее интенсивного строительства с 2001 по 2013 гг. (рис. 5). В этот период площадь территорий, занятых техногенными объектами, увеличилась на 30%, площадь минерализованных почв — на 83%, при этом лесистость сократилась на 57%. Средневзвешенное значение индекса NDVI снизилось с 0,5 до 0,4.

Рис. 5. Динамика растительного покрова на 2-м участке в период интенсивного строительство, рассчитанная на основе значений NDVI

Fig. 5. The dynamics of the vegetation cover in the 2nd section during the intensive construction period, calculated on the basis of the NDVI values

Выводы

1. Наиболее масштабное нарушение растительного покрова при освоении нефтегазовых месторождений происходит в период строительства технологических объектов в первую очередь за счет вырубки лесов. Частично естественные ландшафты засыпаются минеральным грунтом под инфраструктуру промыслов, по периферии которых почвенный покров минерализуется.

2. После завершения строительства и с переходом к этапу добычи нефти и газа наблюдается восстановление растительного покрова за счет зарастания травянистой и кустарниковой растительностью минерализованных поверхностей.

3. Известный метод дистанционного оценки состояния растительности на основе вычисления вегетационного индекса NDVI может быть применен при изучении масштабов и скорости деградационно-восстановительных процессов в растительном покрове на различных этапах освоения нефтегазовых месторождений. При этом для корректных сравнений необходимо проводить расчет средневзвешенных значений индекса (по выделенным типам поверхностей).

4. Величины значений NDVI находится в положительной логарифмической зависимости сильной степени от лесистости изученной территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева М. Н. Оценка состояния окружающей среды нефтедобывающих территорий на основе данных дистанционного зондирования с применением геоинформационных технологий / М. Н. Алексеева, И. Г. Ященко, Т. О. Перемитина // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 1. С. 30-35.
2. Бродт Л. В. Оценка антропогенной трансформации естественных ландшафтов лесотундровой зоны (Уренгойского НГКМ) с использованием индекса NDVI / Л. В. Бродт // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. Том I. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. С. 712-713.
3. Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование // Mapexpert. URL: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news (дата обращения: 18.02.2016).
4. Зотова Л. И. Оценка состояния оленьих пастбищ в зонах промышленной инфраструктуры месторождений ямало-ненецкого автономного округа / Л. И. Зотова, С. Ю. Дедюсова // Проблемы региональной экологии. 2016. № 5. С. 92-98.
5. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM/ETM+ // GIS LAB. URL: http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html (дата обращения: 18.02.2016).
6. Калабин Г. В. Спутниковый мониторинг природной среды при открытой разработке Олимпиадинского золоторудного месторождения / Г. В. Калабин, Т. И. Моисеенко, В. И. Горный, С. Г. Крицук, А. В. Соромотин // ФТПРПИ. 2013. № 1. С. 177-184.
7. Квашнин Ю. Н. Оленеводство сибирских тундровых ненцев / Ю. Н. Квашнин // Вестник археологии, антропологии и этнографии. № 6. Тюмень. ИПОС СО РАН, 2005. С. 200-223.
8. Кононов О. Д. О возможности дистанционного мониторинга зарастания геологоразведочных площадок на территории Ненецкого автономного округа / О. Д. Кононов, А. И. Попов // Arctic Evironmental Research. 2017. № 1. С. 5-13.
9. Корниенко С. Г. Исследование трансформации растительности в районах Тазовского полуострова по данным космической съемки / С. Г. Корниенко, К. И. Якубсон // Арктика: экология и экономика. № 4. 2011. С. 46-51.
10. Мячина К. В. Опыт выявления трансформированных ландшафтов нефтепромыслов в условиях степной зоны оренбургской области на основе изображений спутников Landsat / К. В. Мячина // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: материалы и доклады. 10-я Межрегиональная научно-практическая конференция. Уфа, 13–15 мая, 2014 г. Уфа: ДизайнПресс, 2014. С. 228.
11. Соромотин А. В. Техногенная трансформация природных экосистем таежной зоны в процессе нефтегазодобычи: автореф. дисс. … док. биол. наук / А. В. Соромотин. Тюмень, 2007. С. 41.
12. Соромотин А. В. Активизация эоловых процессов на севере Западной Сибири в связи с возросшим антропогенным воздействием / А. В. Соромотин, О. С. Сизов // Проблемы региональной экологии. 2007. № 4. С. 10-13.
13. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А. С. Черепанов, Е. Г. Дружинина // Геоматика № 3. 2009. Москва: Совзонд, 2009. С. 28-32.

14. Шарая Л. С. Прогнозное картографирование лесных экосистем (ландшафтно-экологический подход) / Л. С. Шарая // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 3. С.38-47.
15. Шукилович А. Ю. Применение сенсора MODIS для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения / А. Ю. Шукилович, Е. В. Федотова, Ю. А. Маглинец // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». 2016. Т. 9. № 7. С. 1035-1044.
16. Rouse J. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / J. W. Rouse, R. H. Hass, J. A. Schell, D. W. Deering // Proceedings of the third ERTS symposium, Goddard Space Flight Center, December 1973, NASA SP-351. Pp. 309-317. Washington DC: NASA, 1973.
17. USGS EarthExplorer — U.S. Geological Survey // USGS EarthExplorer. URL: http://earthexplorer.usgs.gov (Accessed on May 18, 2016).

Andrei V. SOROMOTIN[1]
Leya V. BRODT[2]

MONITORING OF VEGETATION COVER DURING THE DEVELOPMENT OF OIL AND GAS FIELDS ACCORDING TO THE LANDSAT MULTISPECTRAL SURVEY DATA

[1] Dr. Sci. (Biol.), Director of the Research Institute of Ecology and Resource Natural Management, University of Tyumen
a.v.soromotin@utmn.ru

[2] Master Student, "Geoecology of Oil and Gas Producing Regions" Program, University of Tyumen
leya.brodt@mail.ru

Abstract

This article explains the possibility of using different in time digital satellite images to assess the state of the natural environment in the areas of oil and gas production in the subtundra forests of Western Siberia. The authors present the algorithm and results of calculations of the normalized difference vegetation index (NDVI) based on the data of the red (0.6-0.7 μm) and near infrared (0.7-1.0 μm) ranges of the Landsat 5,7 and 8 images in the Urengoy oil and gas condensate field at various stages of development. The means and methods for analysis include the ArcGIS 10.0 software package with the selection of different types of surface (for thematic interpretation) and the ENVI 4.8 PC for calculating the index.

The examples of two key sites show the territorial and temporal dynamics of vegetation cover in 2001-2013. The authors prove that the maximum negative impact happens at the stage of constructing infrastructure facilities primarily due to deforestation. Natural landscapes are covered with mineral soil, the soil cover is mineralized. After the construction's completion, the restoration of the vegetation cover begins due to the overgrowing of grassy and shrubby vegetation of mineralized surfaces and sandy debris. When studying the scale and rate of degradation-reduction processes in the vegetation cover for man-caused impacts for correct comparisons, it is necessary to calculate the weighted average NDVI values (for selected

Citation: Soromotin A. V., Brodt L. V. 2018. "Monitoring of Vegetation Cover during the Development of Oil and Gas Fields According to the Landsat Multispectral Survey Data". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 4, no 1, pp. 37-49. DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-1-37-49

© University of Tyumen

types of surfaces). The obtained values for the types of the studied surfaces can be used to analyze the vegetation cover in the forest-tundra zone of Western Siberia. The values of the normalized relative vegetation index are in a positive logarithmic dependence of the strong degree on the forest cover of the studied territory.

Keywords

Landsat, NDVI, forest-tundra, Western Siberia, vegetation, impact of oil and gas production, degradation-reduction processes, Urengoy field.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-1-37-49

REFERENCES

1. Alekseyeva M. N., Yashchenko I. G., Peremitina T. O. 2013. “Otsenka sostoyaniya okruzhayushchey sredy neftedobyvayushchikh territoriy na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya s primeneniyem geoinformatsionnykh tekhnologiy” [Assessment of the State of the Environment of Oil-Producing Territories on the Basis of Remote Sensing Data with the Use of Geoinformation Technologies]. Bezopasnost’ zhiznedeyatel’nosti, no 1, pp. 30-35.
2. Brodt L. V. 2017. “Otsenka antropogennoy transformatsii estestvennykh landshaftov lesotundrovoy zony (Urengoyskogo NGKM) s ispol’zovaniyem indeksa NDVI” [Anthropogenic Transformation of Natural Landscapes of the Forest-Tundra Zone (Urengoi OGCM) Using the NDVI]. Proceedings of the 21st International Symposium named after M. A. Usov, for Students and Young Researchers, devoted to the 130th Anniversary of Prof. M. I. Kuchin “Problemy geologii i osvoyeniya nedr” [The Problems of Geology and Subsoil Development], vol. 1, pp. 712-713. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta.
3. Mapexpert. “Vegetatsionnyye indeksy. Osnovy, formuly, prakticheskoye ispol’zovaniye” [Vegetation Indices. Fundamentals, Formulas, Practical Use]. Accessed on 18 February 2016. http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news
4. Zotova L. I., Dedyusova S. Yu. 2016. “Otsenka sostoyaniya olen’ikh pastbishch v zonakh promyshlennoy infrastruktury mestorozhdeniy yamalo-nenetskogo avtonomnogo okruga” [Assessment of the State of Deer Pastures in the Industrial Infrastructure of the Deposits of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug]. Problemy regional’noy ekologii, no 5, pp. 92-98.
5. GIS LAB. “Interpretatsiya kombinatsiy kanalov dannykh Landsat TM/ETM+” [Interpretation of Combinations of Landsat TM/ETM+ Data Channels]. Accessed on 18 February 2016. http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html
6. Kalabin G. V., Moiseyenko T. I., Gornyy V. I., Kritsuk S. G., Soromotin A. V. 2013. “Sputnikovyy monitoring prirodnoy sredy pri otkrytoy razrabotke Olimpiadinskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya” [Satellite Monitoring of the Natural Environment in the Open Development of the Olympiad Gold Ore Deposit]. FTPRPI, no 1, pp. 177-184.
7. Kvashnin Yu. N. 2005. “Olenevodstvo sibirskikh tundrovykh nentsev” [Reindeer Breeding of Siberian Tundra Nenets]. Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii, no 6, pp. 200-223. Tyumen’. IPOS SO RAN.

8. Kononov O. D., Popov A. I. 2017. "O vozmozhnosti distantsionnogo monitoringa zarastaniya geologorazvedochnykh ploshchadok na territorii Nenetskogo avtonomnogo okruga" [On the Possibility of Remote Monitoring of the Overgrowing of Geological Exploration Sites in the Nenets Autonomous Okrug]. Arctic Evironmental Research, no 1, pp. 5-13.
9. Korniyenko S. G., Yakubson K. I. 2011. "Issledovaniye transformatsii rastitel'nosti v rayonakh Tazovskogo poluostrova po dannym kosmicheskoy s"yemki" [Investigation of Vegetation Transformation in the Regions of the Taz Peninsula according To Space Survey Data]. Arktika: ekologiya i ekonomika, no 4, pp. 46-51.
10. Myachina K. V. 2014. "Opyt vyyavleniya transformirovannykh landshaftov neftepromyslov v usloviyakh stepnoy zony orenburgskoy oblasti na osnove izobrazheniy sputnikov Landsat" [Experience of Revealing Transformed Oilfield Landscapes in the Steppe Zone of The Orenburg Region On The Basis Of Images Of Landsat Satellites]. Proceedings of the 10th Interregional Research Conference "Geologiya, poleznyye iskopayemyye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territoriy" [Geology, Minerals and Problems of Geoecology of Bashkortostan, The Urals And Adjacent Territories] (Ufa, 13–15 May 2014). Ufa: DizaynPress.
11. Soromotin A. V. 2007. "Tekhnogennaya transformatsiya prirodnykh ekosistem tayezhnoy zony v protsesse neftegazodobychi" [Technogenic Transformation of Natural Ecosystems of the Taiga Zone In The Process Of Oil and Gas Production]. Dr. Si. (Biol.) diss. abstract. Tyumen.
12. Soromotin A. V., Sizov O. S. 2007. "Aktivizatsiya eolovykh protsessov na severe Zapadnoy Sibiri v svyazi s vozrosshim antropogennym vozdeystviyem" [Activization of Aeolian Processes in the North of Western Siberia in Connection with Increased Anthropogenic Impact]. Problemy regional'noy ekologii, no 4, pp. 10-13.
13. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. 2009. "Spektral'nyye svoystva rastitel'nosti i vegetatsionnyye indeksy" [Spectral Properties of Vegetation and Vegetative Indices]. Geomatika, no 3, pp. 28-32. Moscow: Sovzond.
14. Sharaya L. S. 2013. "Prognoznoye kartografirovaniye lesnykh ekosistem (landshaftno-ekologicheskiy podkhod)" [Forecasting Mapping of Forest Ecosystems (Landscape-Ecological Approach)]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, no 3, pp. 38-47.
15. Shukilovich A. Yu., Fedotova E. V., Maglinets Yu. A. 2016. "Primeneniye sensora MODIS dlya operativnogo monitoringa zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya" [Application of the MODIS Sensor for the Operational Monitoring of Agricultural Lands]. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya "Tekhnika i tekhnologii", vol. 9, no 7, pp. 1035-1044.
16. Rouse J. W., Hass R. H., Schell J. A., Deering D. W. 1973. "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS". Proceedings of the 3rd ERTS symposium (Goddard Space Flight Center, December 1973, NASA SP-351), pp. 309-317. Washington DC: NASA.
17. USGS EarthExplorer. "USGS EarthExplorer — U.S. Geological Survey". Accessed on 18 May 2016. http://earthexplorer.usgs.gov