

Особенности трансформации растительности на территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения

С.Г. Корниенко

Институт проблем нефти и газа РАН

119333, г. Москва, ул. Губкина, 3

E-mail: spaceakm2@ogri.ru

На основе анализа разновременных данных со спутников Landsat, снимков высокого разрешения КФА-1000 и материалов наземных наблюдений проведена оценка площадных изменений доминирующих типов растительности на территории, включающей центральную часть Уренгойского месторождения. В работе использовались несколько алгоритмов классификации типов поверхности, из которых был выбран алгоритм *Минимальных расстояний*, показавший наиболее достоверные результаты. Изменение состояния земной поверхности оценивалось также по спектральным индексам NDVI и SWVI, причем, SWVI оказался более информативным, что связывается с особенностями трансформации тундровой растительности после пожаров. Установлено, что за период с 1978 по 2001 гг. на исследуемой территории изменению подверглось не менее 31,6% площади, из них порядка 7,6% за счет строительства объектов и 24,0% из-за сопутствующих пожаров и уничтожения растительности. За период с 1988 по 2001 гг. площадь лишайника (*Cladonia rangiferina*), как основного геоботанического индикатора антропогенной нагрузки, уменьшилась на 5,7%, что в несколько раз меньше, по сравнению с аналогичным периодом с начала освоения месторождения.

Ключевые слова: тундровая растительность, нефтегазовые объекты, дистанционное зондирование Земли, классификация типов растительности, геоботанические индикаторы, антропогенная нагрузка.

Спектральные методы анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются эффективным инструментом для изучения процессов трансформации растительности для крупных территорий. Однако результаты обработки исходных многоспектральных данных, полученные по разным методикам и алгоритмам, могут существенно отличаться, в первую очередь, по площади проективного покрытия типами растительности.

Целью данной работы является количественная оценка изменений растительных покровов (РП) центральной части Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (УНГКМ) по данным разновременной космической съемки, а также сравнительный анализ эффективности различных алгоритмов обработки данных ДЗЗ.

Исследуемая территория УНГКМ, площадью около 4000 кв.км, захватывающая г. Новый Уренгой, почти целиком расположена в зоне лесотундры. Наиболее заметные изменения обусловлены лесными и тундровыми пожарами. На свежих гарях, после уничтожения теплоизолирующего РП увеличивается мощность сезонно-талого слоя (СТС), активизируются процессы плоскостной эрозии, термокарста, солифлюкции, сползания поверхностных отложений даже на пологих склонах. Уничтожение и смена РП приводит к изменению состояния мерзлых грунтов, образованию подтоплений и развитию процессов морозного пучения. По мере увеличения техногенной нагрузки заметно уменьшение размеров мелких озер и общее снижение водности рек, обусловленное быстрым стоком дождевых осадков по многочисленным промоинам и ложбинам, лишенным растительности.

Территория УНГКМ характеризуется большим количеством видов РП, в то время как возможности классификации типов поверхности по данным ДЗЗ ограничиваются числом спектральных каналов приемных систем. В настоящее время для ретроспективного анализа глубиной в 20-25 лет наиболее приемлемыми считаются снимки спутников серии Landsat. Для характеристики

влияния антропогенной нагрузки могут быть использованы несколько, хорошо различимых по космическим данным, типов поверхности, в первую очередь, типов РП, являющихся *геоботаническими индикаторами* происходящих изменений.

Известно, что антропогенные воздействия в аналогичных районах приводят к изменению видового состава и площади РП, в основном, смене лишайниковых покровов, на кустарничковые, травяные и зеленомошные покровы [1]. Исследование спектральных характеристик этих типов растительности свидетельствует об их хорошей различимости по данным спутников Landsat (<http://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/98-10/05-10.html>). Таким образом, эти типы растительности могут быть использованы в качестве геоботанических индикаторов антропогенного стресса на данной территории. Основным из них является *ягель* (лишайник вида *Cladonia rangiferina*), поскольку он очень чувствителен к внешним механическим и химическим воздействиям и восстанавливается несколько десятков лет. Олени пастбища (ягельники) отнесены к наиболее уязвимым звеньям экологических систем на осваиваемых территориях севера Западной Сибири.

Хорошо различимыми типами поверхности, традиционно характеризующими антропогенные трансформации ландшафта, являются также водные поверхности, открытые почвы (глины, песчаники), техногенные объекты, а также гари. Другой особенностью территории является пространственное слияние большинства техногенных объектов и песчаников, поскольку в условиях вечной мерзлоты практически все строительство осуществляется с песчаной отсыпкой под основание объектов. В этой связи, классы песчаников и техногенных объектов объединялись в один класс.

Для работы использовались снимки со спутника Landsat 4 (01.08.1988 г.) и Landsat 7 (5.08.2001 г.) с пространственным разрешением 30 м, что позволяет осуществлять картирование в масштабе 1:100 000. Кроме того, для проверки достоверности классификации использовался космический снимок камеры КФА-1000 (15 июля 1988 г. съемки) на пленку СН-10 с более высоким (7 м) пространственным разрешением, охватывающий территорию наземных наблюдений. Близость дат съемки исключает различия в спектральных характеристиках РП, связанных с фенологическими фазами. Также в работе использовались топографические карты масштаба 1:100 000. В данной работе использовались все алгоритмы классификации, представленные в программном комплексе ENVI версии 4.3.

Наземные наблюдения на данной территории проводились в августе 2005 г., во время которых с помощью GPS-приемника было определено местоположение обучающих и контрольных участков с относительно однородным покровом ягеля, зеленого мха, сплошного лесного массива, песчаников и водной поверхности, а также участков, отнесенных к относительно недавним гарям. Участки, относящиеся к техногенным объектам, определялись по площадкам размещения установок комплексной переработки газа, занимающим достаточно большие территории и отчетливо дешифрируемым по космическим снимкам. На основе обучающих выборок по данным спутников Landsat определены сигнатуры спектральной яркости выбранных типов классифицируемых поверхностей, характеризующих их состояние на начало августа (рис. 1).

Сравнение результатов классификации, проведенной по различным алгоритмам с данными КФА-1000 в границах тестовой площадки, показало, что наиболее достоверными являются классификации, полученные по алгоритмам *Махалонобиса*, *Максимума правдоподобия* и *Минимальных расстояний*. Стандартный анализ матриц ошибок с использованием контрольных выборок показал высокую точность классификации по каждому из них, соответственно, 97,67%, 99,72%, 99, 81%. В то же время, по площадям проективного покрытия в границах всей территории результаты классификации существенно отличаются.

Водные поверхности достаточно хорошо отделяются по спектральным признакам, тем не менее, по алгоритму *Максимума правдоподобия* произошло перепутывание значительной части водоемов и техногенных объектов, в результате чего, площадь водоемов оказалась заниженной. Алгоритм *Махалонобиса* показал завышенную площадь проективного покрытия ягелем на территории южнее г. Новый Уренгой, что сильно расходится с результатами по двум другим алгоритмам. В итоге, наиболее достоверной в данном случае, можно считать классификацию по алгорит-

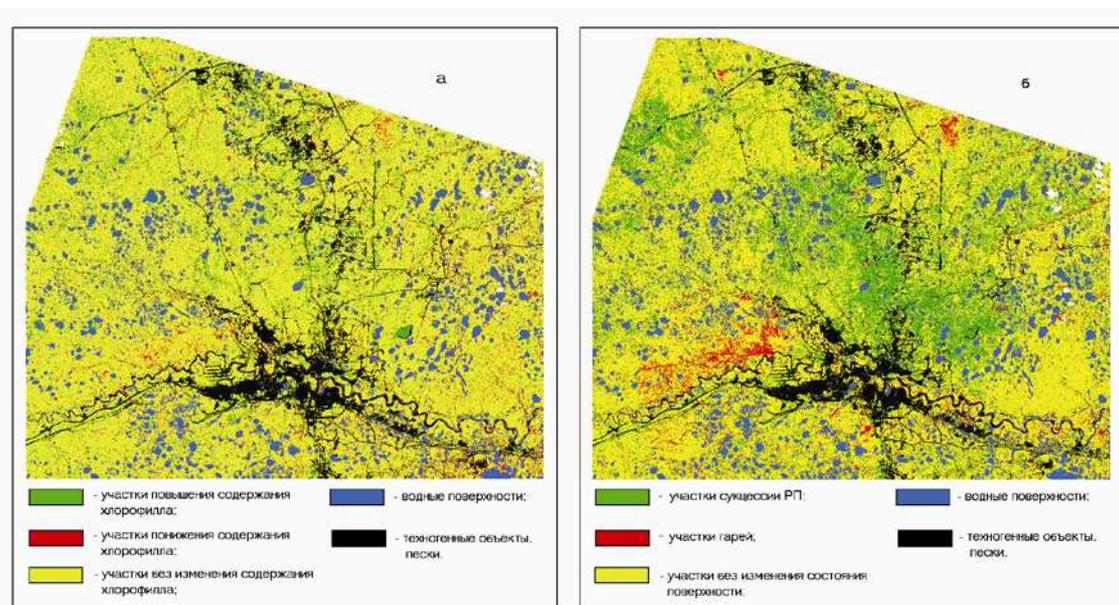


Рис. 3. Иллюстрации карт изменения поверхности за период с 1988 по 2001 г.г. по параметрам NDVI (а) и SWVI (б)

Дополнительно для анализа использовались спектральные параметры NDVI и SWVI. Параметр $NDVI = (Ch4 - Ch3) / (Ch4 + Ch3)$, (Ch3 и Ch4 значение спектральной яркости в 3 и 4 спектральных каналах сканера Landsat) - характеризует содержание хлорофилла в РП, и по разности его значений могут быть установлены участки увеличения и уменьшения содержания хлорофилла в покрове (рис. 3а) [2, 3].

Параметр $SWVI = (Ch5 - Ch4) / (Ch5 + Ch4)$ интересен в данном случае тем, что его положительные значения суммарно характеризуют площадь гарей, техногенных объектов и песков, а все отрицательные - участки любого РП и водоемов (рис.1). По разности значений этого параметра можно более точно судить о возникновении новых гарей и сукцессии РП всех типов (рис. 3 б). Результаты классификации по изменениям параметров NDVI и SWVI даны в таблице 2. Область фоновых значений (без изменений) определялась по эталонным участкам, отнесенным к ненарушенным территориям. В таблице не учитывались водоемы и техногенные объекты, площадь которых в сумме составляла 18,5%.

В целом, оба параметра свидетельствуют о преобладании процессов восстановления РП на данном отрезке времени. Более высокий процент площадей зон развития и деградации РП по SWVI по отношению к NDVI может быть связан с тем, что для некоторых участков РП с предельно низким содержанием хлорофилла эти процессы не сопровождаются заметным по NDVI увеличением или уменьшением его содержания.

Таблица 2. Процентное соотношение площадей развития и деградации РП за период с 1988 по 2001 гг. (по изменению параметров NDVI и SWVI)

	<i>Неизмененные территории, %</i>	<i>Зоны развития РП, %</i>	<i>Зоны деградации РП, %</i>
NDVI	68,8	8,8	3,9
SWVI	57,5	19,5	4,5

Параметр SWVI характеризует изменения за период с начала освоения месторождения (с 1978 г.), поскольку все зоны развития РП относятся к территориям, претерпевшим антропогенный стресс до 1988 г. Подтверждением тому могут служить результаты ретроспективного анализа серии панхроматических космических снимков 1976 - 1993 гг. съемки на отдельные участки этой

территории [4]. Таким образом, к 2001 г. 24,0% (19,5% + 4,5%) площади исследуемой территории, не считая техногенных объектов, претерпели антропогенное воздействие. Параметр SWVI показывает, что прирост площади новых гарей (возникших за период с 1988 по 2001 гг.) составляет 4,5% из 5,9% площади гарей 2001 года. Разница в этих площадях может быть отнесена к участкам старых гарей (или снятого растительного покрова), на которых процесс сукцессии РП не происходил.

Период с 1988 по 2001 гг. характеризуется стабильной эксплуатацией УНГКМ, когда основные промышленные и хозяйственные объекты уже построены и антропогенная активность в освоении территорий невысока. С начала освоения месторождения к 2001 г. на анализируемой территории трансформированию подверглось порядка 31,6% площади, из них порядка 7,6% за счет строительства объектов и 24,0% из-за сопутствующих пожаров и уничтожения РП. Несмотря на продолжающийся антропогенный стресс и локальные нарушения, данный период, в целом, характеризуется фазой восстановления РП и преимущественно вторичными сукцессиями. В первые годы после пожаров или нарушения РП на месте ягеля произрастает кустарниковая растительность, злаковые травы и зеленые мхи, поэтому логично увеличение площади классов «зелени» и «мха». В тоже время, увеличение площади территорий, относящихся к классу «зелень» частично может происходить за счет прироста древесной растительности, в первую очередь, лиственницы. Подобные тенденции распространения лиственницы из экотона лесотундры в тундру связываются с глобальным потеплением за последние десятилетия [5].

За 13 лет на территории центральной части УНГКМ продолжался процесс уменьшения площади проективного покрытия ягеля. За это время она уменьшилась еще на 6%, что, приблизительно в 4 раз меньше, по сравнению с аналогичным периодом с начала освоения месторождения. Незначительно увеличилась площадь водоемов и практически не изменилась площадь техногенных объектов и песков, что характеризует стабильность техногенной нагрузки.

Анализ полученных карт показывает, что зоны изменения состояния поверхности, в основном, приурочены к техногенным объектам. В то же время, следует отметить, что уменьшение площади ягеля происходит не только за счет его сгорания или снятия. При визуальном дешифрировании это отчетливо проявляется на территории ягельников в правой верхней части карты (зона А, рис. 2). Этот факт не может быть связан с ошибками в обработке данных, поскольку в левой нижней части аналогичные по классу небольшие участки практически не изменились в границах и в площади (зона Б, рис. 2). Возможно, что уменьшение площади ягеля связано с трансграничным переносом загрязнения по воздуху или в подземной гидросфере, однако не исключена связь с другими антропогенными факторами. В целом, полученные результаты свидетельствуют об эффективности комплексного применения алгоритмов обработки данных ДЗЗ для характеристики изменения состояния природной среды осваиваемых тундровых и лесотундровых районов. Выбор данных ДЗЗ и методов их обработки определяются исходя из особенностей территории, ее площади, специфики задач, и индивидуальны для каждого конкретного случая, однако общим обязательным условием должно быть обоснование выбора алгоритмов обработки и критериев оценки точности результатов.

Работа выполнена по проекту *«Современные процессы трансформации природно-антропогенных комплексов в основных нефтегазодобывающих регионах России»* программы № 12 Отделения наук о Земле Российской академии наук *«Природные и социально-экономические факторы изменения окружающей среды»*.

Литература

1. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Н.Г. Москаленко. Коллектив авторов. Институт криосферы Земли, 2005. 357 с.
2. Елсаков В.В., Плюснин С.Н., Щанов В.М. Технологии дистанционного зондирования в исследовании свойств растительных сообществ бассейна р. Новая Нерута // Современные проблемы

дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сб. научных статей. Вып. 3. Т. II. - М.: ООО «Азбука-2000», 2006. С. 315-319.

3. Huete A.R. Environmental monitoring with remote sensing // J. Artiola, I. Pepper, M. Brasseur (eds). N.Y., Acad. Press, 2004, chap. 11, p.183-206.

4. Корниенко С.Г., Якубсон К.И., Масленников В.В. Изучение трансформаций природных комплексов нефтегазоносных областей криолитозоны по данным космической съемки // Наука и техника в газовой промышленности, 2005. №3. С.71-77.

5. Космоснимки высокого разрешения в анализе временной динамики экотона лесотундры. В.И. Харук, С.Т. Им, К. Дж. Рэнсон, Г. Сан. // Исследование Земли из космоса, 2005. № 6. С. 46-55.

Feature of transformation of vegetation on the territories of Urengoy's oil and gas deposit

S.G. Kornienko

Oil and Gas Research Institute RAS, Moscow, st. Gubkina, 3

E-mail: spaceakm2@ogri.ru

On the basis of the analysis of the non-simultaneous data from satellites Landsat, snapshots of a high-resolution KФА-1000 and materials of land observations the estimation of area change of dominating types of vegetation on territory including a central part Urengoy's deposit is conducted. In operation some algorithms of classification of types of a surface, from which one, in the total were utilized, the algorithm of *Minimum distances* shown the most authentic outcomes was selected. The state transition of an earth's surface also was estimated on spectral indexes *NDVI* and *SWVI*, and, *SWVI* has appeared by more informative, that contacts to features of transformation of tundra vegetation after fires. It is found that for period with 1978 on 2001 on researched territory, change has exposed about 31,6% of square, from them about 7,6% at the expense of construction of objects and 24,0% because of attendant fires and defoliating. For period with 1988 on 2001 square of deer lichen (*Cladonia rangiferina*), as main geobotanic indicator of anthropogenous load, has decreased on 5,7% that in some times it is less, as contrasted to by similar period from a beginning of an opening of a deposit.

Keywords: tundra vegetation, oil and gas objects, remote sensing of the Earth, classification of the vegetation types, geobotanic indicators, anthropogenous load.