

## **КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПИРОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ТАЗОВСКОМ П-ОБЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ LANDSAT**

С.Г. Корниенко  
ИПНГ РАН, e-mail: [spaceakm2@ogri.ru](mailto:spaceakm2@ogri.ru)

### **Введение**

Освоение территорий Крайнего Севера предполагает решение широкого круга задач по обеспечению безопасности технических объектов и сохранению естественной природной среды. В районах распространения многолетнемерзлых пород (ММП) нарушения и трансформации природных ландшафтов приводят к развитию опасных для промышленных и хозяйственных объектов геокриологических процессов, таких как термокарст, термоэрозия, заболачивание, подтопление, морозное пучение, солифлюкция, дефляция и др. [1]. К числу не менее важных проблем относятся оценка изменений естественного природного баланса биотических компонент осваиваемых территорий и связанное с ним изменение условий обитания и хозяйствования коренного населения.

На Тазовском полуострове осваиваются крупнейшие в РФ нефтегазоконденсатные месторождения (НГКМ), включая Медвежье (с 1972 г.), Уренгойское (с 1978 г.), Ямбургское (с 1984 г.). Наиболее заметные по масштабам нарушения природных ландшафтов здесь связаны с лесными и тундровыми пожарами, охватывающими большие площади. На горях после уничтожения теплоизолирующего напочвенного растительного покрова (НРП) увеличивается мощность сезонно-талого слоя, возрастает тиксотропность грунтов, что в свою очередь активизирует процессы плоскостной эрозии, термокарста, солифлюкции, сползания поверхностных отложений даже на пологих склонах. Наиболее существенную часть уничтоженного пожаром покрова составляют мхи и лишайники, поскольку потребляют влагу из воздуха, быстро пересыхают в жаркую погоду и легко воспламеняются. На горях лишайникового покрова, в основном, развиваются вторичные виды НРП: кустарничковые, травянистые и моховые [2–4]. Продукты горения, а также вторичные виды НРП могут иметь отличающиеся от коренного тундрового покрова теплоизоляционные свойства, что на больших площадях пожаров может стать причиной изменения состояния геокриологических условий и состояния ММП. В этой связи актуальны разработки методов картографирования, позволяющих получить достоверные

количественные оценки масштабов пирогенных нарушений, а также динамики восстановления покрова осваиваемых районов криолитозоны.

Хронология и масштабы пирогенных нарушений тундрового растительного покрова достаточно эффективно могут быть установлены по доступным в настоящее время архивным космическим снимкам (КС) в оптическом диапазоне длин волн. Предпринимаемые ранее попытки оценить площади трансформаций покрова на Тазовском полуострове охватывали период до 2001 г. и основывались на анализе временных рядов данных радиометров AVHRR метеоспутников серии NOAA [5]. Ограниченное число каналов радиометра AVHRR и относительно низкое пространственное разрешение (1 км) существенно влияют на достоверность и детальность картирования нарушений. В 2008 г. Геологическая служба США (USGS) предоставила открытый доступ к архиву космических снимков спутников Landsat, радиометры которых имеют существенно большее число спектральных каналов и значительно более высокое пространственное разрешение (30 м), позволяющее осуществлять тематическое картографирование в масштабах от 1:50 000 и мельче. Кроме того, в комплексе проблем экологического мониторинга осваиваемых северных территорий актуальны задачи обновления картографических данных, характеризующих состояние природных ландшафтов за последние годы. Цель работы – картографирование многолетних пирогенных нарушений растительного покрова в районах освоения нефтегазоконденсатных месторождений Тазовского полуострова на основе данных со спутников Landsat.

#### **Характеристика объекта и обоснование методики исследований**

Территория полуострова относится к субарктической зоне лесотундры, южной тундры, северной тайги и характеризуется островным, прерывистым, а в северной части сплошным распространением ММП. Местность представляет собой плоскую заболоченную, заозеренную равнину со слаборасчлененным рельефом и абсолютными отметками от 50 до 200 м. В лесотундровой зоне древесная растительность представлена в основном редкостойной лиственницей с примесью березы и ели. В подлеске – кустарники ольхи, ивы, карликовые березки. Наземный ярус образован травяно-мохово-лишайниковым сообществом с кустарничками багульника, голубики, морошки. Большие площади занимают безлесые тундровые участки с ивово-ерниковыми кустарниками и осоко-пушице-моховыми болотами. На относительно дренированных равнинах

распространены лишайники с карликовой березкой, багульником, голубикой и брусникой. Характерными элементами ландшафтов являются мелкие термокарстовые озера, болотистые мочажины и хасырейные котловины в разной степени осушения.

В настоящей работе анализ проводился на основе 29 снимков со спутников Landsat, охватывающих период с 1983 по 2016 гг. Для верификации результатов использовались КС КАТЭ-200 1976 г., высокодетальные снимки КФА-1000 1979, 1988, 1993 гг. съемки, снимки со спутника Planet Scope 2016 г., а также материалы полевых исследований, проводимых в 2005–2006 гг. на территории Уренгойского НГКМ.

Дешифрирование зон нарушений разных лет проводилось в соответствии с многопараметрической моделью [6], характеризующей восстановление НРП после пирогенного поражения. В общем случае многопараметрическая модель представляет собой систему (ряд) параметров, определяемых по мультиспектральным данным, особенности изменений которых характеризуют тот или иной тип трансформации. При решении обратных задач синергетический эффект от использования нескольких информативных параметров позволяет повысить достоверность типизации процесса. В данном случае для построения модели использовались альbedo поверхности  $A$  [7], коэффициент излучения  $\varepsilon$  [8], спектральные индексы  $NBR$  (Normalized Burn Ratio) [9],  $NDWI$  (Normalized Difference Water Index) [10],  $NDVI$  (Normalized Difference Vegetation Index) [11], а также температура поверхности  $T_s$  [12].

При сгорании тундрового НРП все параметры кроме  $T_s$  скачкообразно понижаются, а  $T_s$ , наоборот, резко повышается за счет увеличения количества поглощенной радиации, снижения отдачи тепла с поверхности и снижения влажности покрова. Поверхности вторичных видов НРП, как правило, имеют спектральные характеристики, отличающиеся от характеристик коренного покрова. По мере развития на горях вторичного НРП все параметры будут расти, а параметр  $T_s$  будет понижаться, что может служить отличительным признаком пирогенной сукцессии как одного из типов трансформации тундрового ландшафта.

На рис. 1 приведен пример построения модели восстановления (вторичной сукцессии) НРП на супесчаных грунтах на известном участке пирогенного поражения лишайникового покрова в районе Уренгойского НГКМ [6]. Модель представлена в виде кривых многолетних изменений разности параметров ( $a-d$ ) между участком стабильного (эталонного) состояния НРП и участком восстановительной сукцессии после пожара. Для

исключения отрицательных величин изменение параметра  $T_s$  (рис. 1, *e*) дано в виде разности его значений между нарушенным и эталонным участками. Как видно из графиков, для данного типа трансформаций НРП на этом участке характерно относительно быстрая стабилизация значений  $A$  (рис. 1, *a*) и более длительная стабилизация параметров  $NDWI$  (рис. 1, *д*) и  $T_s$  (рис. 1, *e*), в большей степени зависящих от влажности покрова.

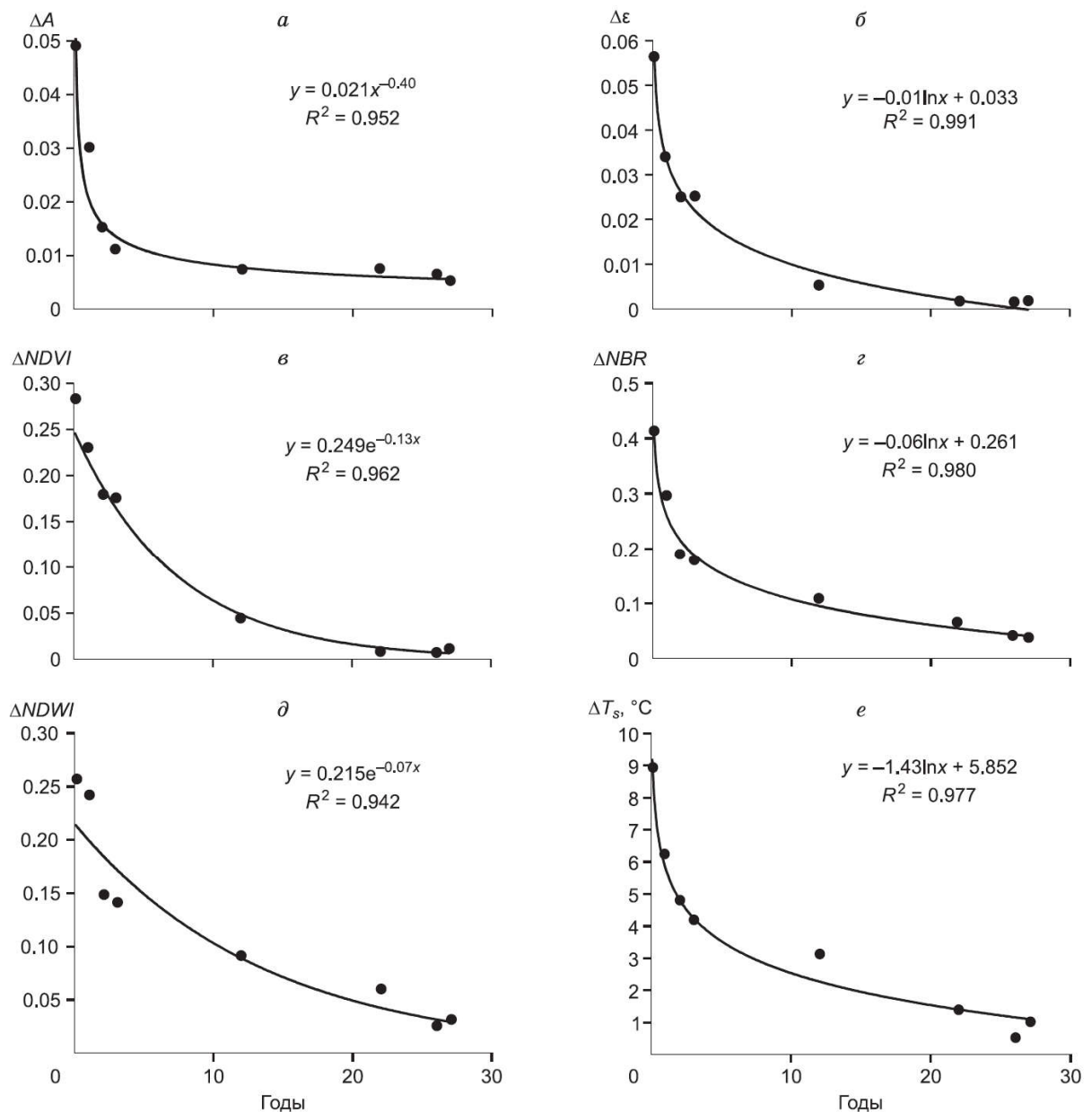


Рис. 1. Изменение разности средних значений параметров между участками эталонного и нарушенного пожаром лишайникового покрова: *a* – альbedo ( $A$ ); *б* – коэффициент излучения ( $\epsilon$ ); *в* –  $NDVI$ ; *г* –  $NBR$ ; *д* –  $NDWI$ ; *e* – температура ( $T_s$ )

Процессы зарастания гарей и стабилизации состояния вторичных видов тундрового напочвенного растительного покрова длятся не менее 20–30 лет (рис. 2) и могут быть идентифицированы по характеру изменения анализируемых параметров. Модель позволяет прогнозировать сроки восстановительной сукцессии и стабилизации теплового и радиационного баланса на поверхности аналогичных типов тундрового НРП, в том числе, при отсутствии сведений о значении параметров в момент возникновения пожара и в первые годы после него. Характерный вид кривых многолетнего изменения параметров, в частности, позволяет отличить процессы пирогенной трансформации НРП от процессов изменения влажности покрова, субстратов и грунтов, непосредственно не связанных с пожарами, но также влияющих на изменение спектральных характеристик поверхности и температуры покрова.

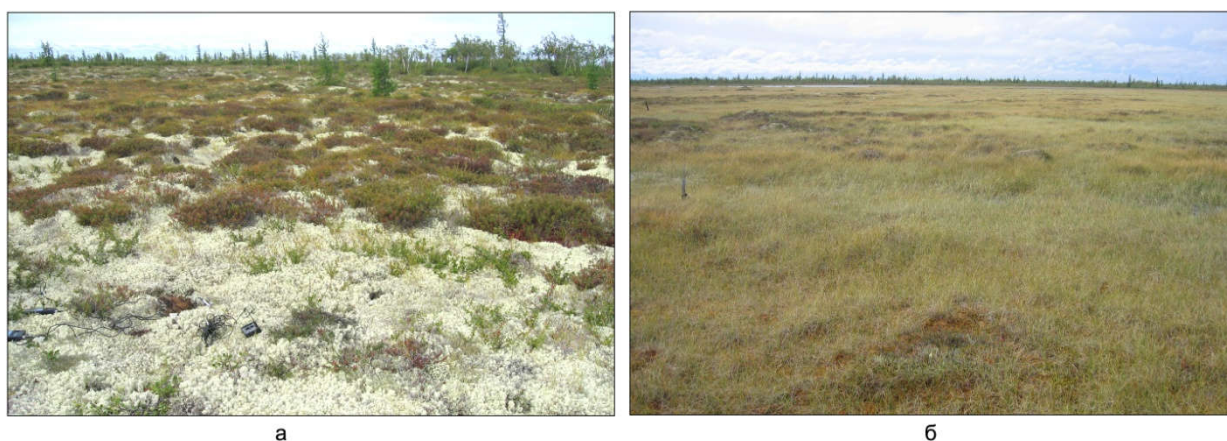


Рис. 2. Участок ерничково-кустарничково-лишайниковой тундры (а), не затронутый пожарами, и смежный с ним участок с травяно-кустарничково-моховым покровом (б) после пожара, прошедшего 22-мя годами ранее (Уренгойское НГКМ, 2005 г.)

В настоящей работе определение границ пирогенных нарушений осуществлялось на основе анализа изменений индексов  $NBR$ ,  $NDWI$  и  $T_s$ , поскольку они имеют наиболее длительные периоды стабилизации вторичной восстановительной сукцессии [6]. Остальные параметры в соответствии с моделью использовались для подтверждения приуроченности выделенных участков к районам прошедших пожаров. По имеющимся данным были установлены участки пирогенных нарушений покрова, произошедших с середины 70-х годов прошлого века, т.е. приблизительно 40 лет назад.

### Результаты исследований

На рис. 3 приведена иллюстрация карты современных пирогенных нарушений растительного покрова на территории центральной части Тазовского п-ова, площадью 65 824 км<sup>2</sup> (6 582 400 Га). Карта построена в масштабе 1:500 000 и отражает четыре периода пирогенных нарушений: до 1988 г., с 1989 по 2001 гг., с 2002 по 2015 гг. и 2016 г. Тундровые пожары 2016 г. носят аномальный по масштабам характер, в связи с чем их картографирование представлено отдельным периодом. В табл. 1 приведены данные количественной оценки площадей пирогенных нарушений по периодам, всего за 40 лет и всего за это время с учетом территорий повторных нарушений, площадь которых составила 381 км<sup>2</sup> (38 100 Га). Для удобства сравнения с данными других авторов значения нарушенных площадей приведены в квадратных километрах, гектарах и в процентах от площади анализируемой территории. Таким образом, только за последние 40 лет доля территорий суммарных пирогенных нарушений растительного покрова центральной части Тазовского п-ова составила около 21%.

Таблица 1

#### Площадь пирогенных нарушений растительного покрова на Тазовском полуострове

Период	Площадь нарушений, км <sup>2</sup>	Площадь нарушений, Га	Площадь нарушений, %
До 1988 г.	4 120	412 000	6,25
С 1989 по 2001 гг.	6 056	605 600	9,20
С 2002 по 2015 гг.	105	10 500	0,15
2016 г.	3 985	398 500	6,05
Всего нарушенных территорий	14 266	1 426 600	21,65
Всего с учетом повторных нарушений	13 885	1 388 500	21,10

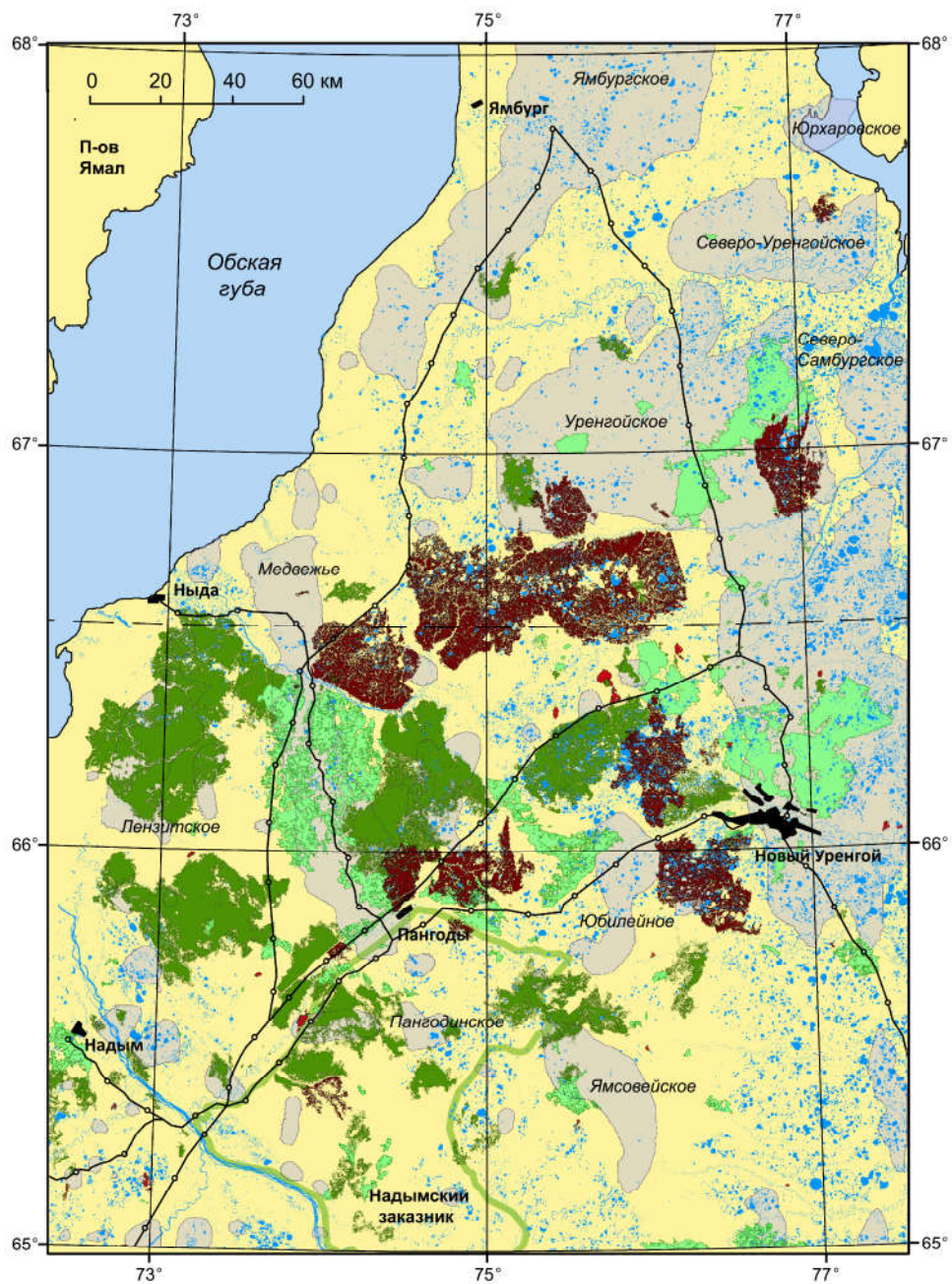
Наиболее крупные зоны пирогенных нарушений и трансформаций растительного покрова сосредоточены в границах Медвежьего и Уренгойского НГКМ, а также на территории между ними. На севере полуострова, в районе Ямбургского НГКМ, изменения покрова незначительны, что, скорее всего, связано с широтным снижением температуры воздуха и, соответственно, повышением влажности НРП. Зоны крупных по площади нарушений до 1988 г. приурочены к районам сосредоточения промышленных объектов

(скважины, УКПГ) Медвежьего и Уренгойского НГКМ. Отмечается существенная неравномерность нарушений покрова по периодам анализа. За период с 1989 по 2001 гг. (12 лет) площадь нарушений более чем в 60 раз больше, чем за следующий период с 2002 по 2015 гг. (13 лет). В аномально жаркое лето 2016 г. площадь нарушений растительного покрова, связанных с пожарами, оказалась соизмерима с площадью всех пирогенных нарушений до 1988 г. Анализ показывает, что за 40 лет повторно сгорело не более 0,6% площадей, а это означает, что при пожарах, в основном, уничтожается эндемичный коренной растительный покров.

В официальном заключении правительства ЯНАО основной причиной (97%) лесных пожаров в регионе в 2016 г. названа грозовая активность в условиях засушливой погоды [13]. Там же отмечено, что за пожароопасный период 2016 г. на территории округа произошло 536 природных пожаров на площади свыше 72 тыс. гектаров. Полученные в настоящей работе данные о площади пирогенных поражений в 2016 году только на Тазовском п-ове составляют около 400 тыс. гектаров (см. табл. 1). Столь существенное расхождение в оценке площадей пирогенного поражения, возможно, связано с учетом МЧС только лесных пожаров и без учета площадей выгорания тундрового НРП. По данным космической съемки установлено, что первый пожар в тундре начался 12 июля, его площадь на 11 час. 30 мин. местного времени занимала всего около 10 км<sup>2</sup> (1 000 Га), а его эпицентр находился в районе газовых промыслов Уренгойского НГКМ.

Представленная в настоящей работе карта (рис. 3), в основном, характеризует пирогенные нарушения покрова, произошедшие на полуострове после 1976 г. Очевидно, что природные факторы, вызывающие пожары (сухие грозы), существовали и ранее, а интенсивные разведочные работы (антропогенные причины) на полуострове велись с начала 60-х годов. В этой связи можно предположить, что пирогенные нарушения коренной растительности здесь составляют более значительную долю территории. Предположение основывается на результатах дешифрирования спектрального КС КАТЭ-200 1976 г. съемки территории центральной части Уренгойского НГКМ, где выделяются нехарактерные для однородных ландшафтов темные участки контрастно низких значений фототона (рис. 4). Некоторые из таких участков отмечены на рис. 4 желтыми стрелками, красными контурами обозначены современные границы города Новый Уренгой. Типичный дешифровочный признак подобных гарей – приуроченность одной из сторон участка к руслам рек, ограничивающим распространение пожара.





Условные обозначения :

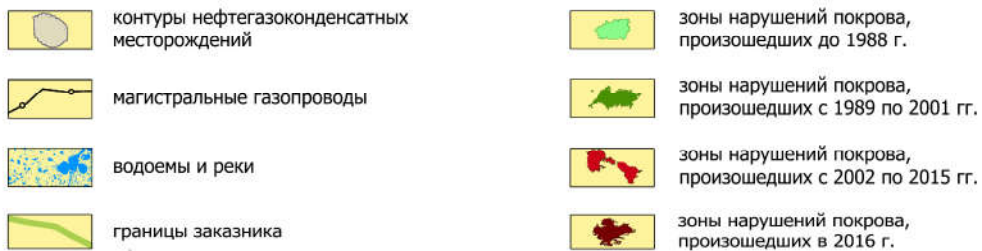


Рис. 3. Карта многолетних пирогенных нарушений растительного покрова на Тазовском п-ове



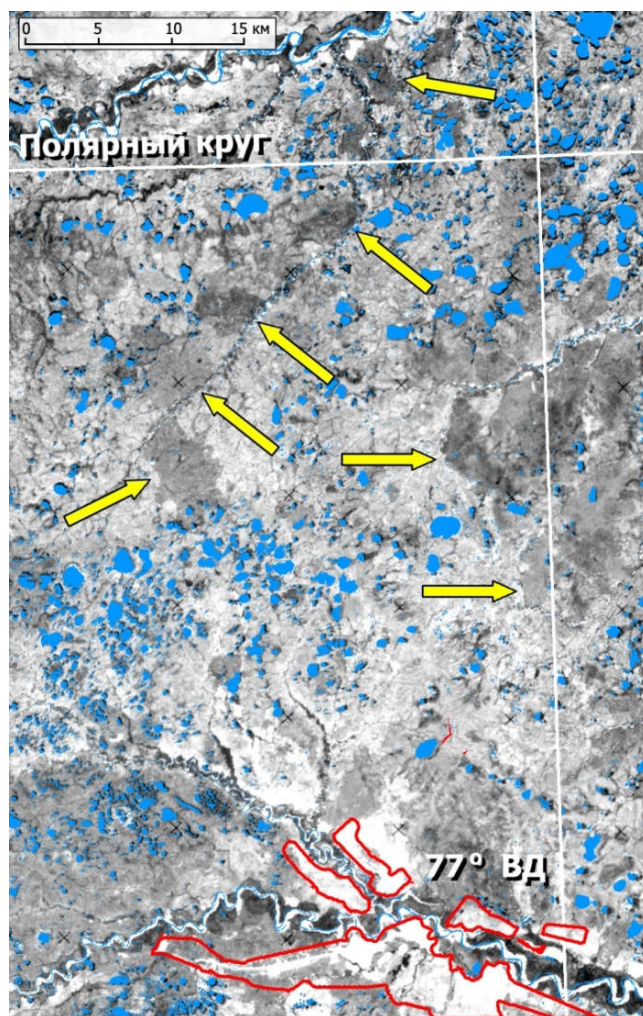


Рис. 4. Признаки пирогенных нарушений покрова в районе Уренгойского НГКМ, произошедших до 1976 г. (по КС КАТЭ-200 1976 г.)

### Выводы

На основе многопараметрического анализа данных со спутников Landsat в масштабе 1:500 000 построена карта пирогенных нарушений растительного покрова, произошедших на Тазовском п-ове за последние 40 лет. Показано, что площадь нарушений покрова за этот период составляет около 21% анализируемой площади полуострова. Доля повторных пирогенных нарушений не превышает 0,6%, что свидетельствует о поражении преимущественно эндемичного коренного растительного покрова.

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли», № АААА-А16-116022550220-4).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пендин В.В., Ганова С.Д. Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне. М.: ОАО «ПНИИИС», 2009. 236 с.
2. Москаленко Н.Г., Бляхарчук Т.А., Пономарева О.Е. и др. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. 207 с.
3. Гречищев С.Е., Мельников Е.С., Хрусталева Л.Н. и др. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
4. Москаленко Н.Г. Пирогенные сукцессии фитоценозов севера Западной Сибири // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 1. С. 45–48.
5. Корниенко С.Г., Якубсон К.И. Аэрокосмические методы контроля за состоянием природной среды при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений криолитозоны [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2012. Вып. 1(5). 3 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 05.06.2018).
6. Корниенко С.Г. Изучение трансформаций тундрового почвенного покрова на участках пирогенного поражения по данным спутников Landsat // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI, № 1. С. 93–104.
7. Liang S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I – Algorithms // Remote Sensing of Environment. 2000. Vol. 76. P. 213–238.
8. Van de Griend A.A., Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces // International Journal of Remote Sensing. 1993. Vol. 14, № 6. P. 1119–1131.
9. Loboda T.V., French N.H.F., Hight-Harf C. et al. Mapping fire extent and burn severity in Alaskan tussock tundra: An analysis of the spectral response of tundra vegetation to wildland fire // Remote Sensing of Environment. 2013. Vol. 134. P. 194–209.
10. Gao B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996. Vol. 58. P. 257–266.
11. Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // Remote Sensing of Environment. 1979. Vol. 8. P. 127–150.

12. *Weng Q., Lu D., Schubring J.* Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies // *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 89. P. 467–483.

13. Подведены итоги пожароопасного сезона-2016: на Ямале действующих природных пожаров нет [Электронный ресурс] // Официальный портал Ямало-Ненецкого автономного округа. 29.08.2016. – Режим доступа: <http://правительство.янао.рф/news/lenta/safety/detail/102133/print/> (Дата обращения 05.06.2018).