

УДК 528.873

Исследование трансформации растительности в районах Тазовского полуострова по данным космической съемки

С.Г. Корниенко, кандидат технических наук*К.И. Якубсон*, кандидат технических наук

Институт проблем нефти и газа РАН

Рассмотрена и обоснована возможность количественной оценки площади антропогенных нарушений растительного покрова в районах освоения нефтегазовых месторождений Субарктики с использованием разновременных данных космической съемки. На основе анализа архивных данных спутников NOAA и Landsat 1988 и 2001 гг. съемки впервые проведена оценка площадных изменений доминирующих типов коренной тундровой и лесотундровой растительности на территории Тазовского полуострова и детально в районе Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ). Исследование и оценка изменения растительности определялись на основе классификации типов поверхности, а также по изменению спектральных индексов NDVI, SWVI и радиационной температуры. Основной тип трансформации растительности – замещение сгоревшего оленьего мха (ягельников) на вторичные виды: травы, кустарничковая растительность, зеленый мох. Показана приуроченность зон трансформации к нефтегазовым месторождениям и магистральным газопроводам. По результатам оценки площадь трансформированной растительности к 2001 г. составляла не менее 14% (10 тыс. км²) территории полуострова. Разработанная методика может быть использована для построения разномасштабных карт трансформации растительного покрова в районах интенсивного хозяйственного освоения территорий арктических и субарктических зон

Введение

Основной составляющей экономического развития в России на ближайшие десятилетия остается добыча и реализация углеводородного сырья, в первую очередь в арктических и субарктических зонах. Освоение месторождений неизбежно связано с изменением состояния природной среды, масштабы и характер которых должны быть ограничены

соответствующими регламентирующими документами. Анализ экологических и геоэкологических последствий хозяйственной деятельности в основных нефтегазодобывающих районах нашей страны показал, что за последние 40 лет на этих территориях происходили негативные изменения природной среды, значительно превышающие нормы, принятые

в большинстве нефтегазодобывающих странах мира. Среди огромного количества публикаций и докладов о мерах по повышению экологической безопасности деятельности предприятий нефтегазовой отрасли практически нет сообщений о реальных изменениях состояния природных комплексов в нефтегазодобывающих регионах Российской Федерации или в районах крупных месторождений. Как отмечает главный научный сотрудник Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН В.Н. Седых: «Сейчас никто не может сказать, какое количество нарушенных земель в действительности присутствует в районах нефтегазодобычи. Информация подобного рода в нефтегазодобывающих компаниях (если она имеется) является закрытой, а государственные учреждения до сих пор не пытались и не пытаются получить подобные сведения» [8].

Следует отметить, что по данным наземных наблюдений, составляющих основу экологического мониторинга нефтегазодобывающих предприятий, невозможно в полной мере воспроизвести картину происходящих изменений, поскольку нарушения (или загрязнения) пространственно неоднородны, а сети постов наблюдений редкие. Кроме того, в основном наблюдения ведутся в пределах лицензионных участков, а влияние производственно-хозяйственной деятельности на природные комплексы смежных территорий не оценивается вовсе. В настоящее время существуют предпосылки изменения ситуации, связанные, в том числе, с развитием и внедрением современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), обеспечивающих контроль состояния природной среды на этапах строительства, эксплуатации и консервации объектов нефтегазового комплекса. Учитывая масштабы, пространственную неоднородность и характер изменений природной среды в районах освоения нефтегазовых месторождений Арктики и Субарктики, создание эффективных систем геоэкологического мониторинга возможно только на основе данных ДЗЗ. Немаловажное значение имеет опыт применения различных методов обработки и интерпретации архивных материалов аэрокосмических наблюдений, а также методики создания геопространственных баз данных, обеспечивающие достоверность, воспроизводимость и сравнимость результатов. В тоже время, известно, что немаловажную роль в трансформации природных комплексов играют естественные тренды, в том числе связанные с глобальными процессами изменения климата и оценка их влияния должна быть включена в систему геоэкологического мониторинга.

Актуальность исследований обусловлена, в первую очередь, необходимостью определения геоэкологических рисков при освоении перспективных месторождений на территориях Крайнего Севера, в первую очередь, на полуострове Ямал. Известно, что в большинстве случаев антропогенное воздействие является первопричиной развития опасных геоэкологических процессов, повышающих риски эксплуатации объектов и сооружений в районах сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов [7]. В связи с этим чрезвычайно важна не только характеристика типов и масштабов трансформаций, но и приуроченность их к техническим объектам. Вторая, не менее важная проблема, – нарушение естественного природного баланса биотических компонент и связанные с ним изменения условий обитания и хозяйствования коренного населения. Настоящая статья посвящена проблеме изучения и количественной оценки трансформаций коренных растительных покровов (РП) в районах интенсивного освоения нефтегазовых месторождений Тазовского полуострова с использованием данных ДЗЗ.

Характеристика района и методы исследований

Территория Тазовского полуострова относится к субарктической зоне лесотундры и южной тундры и характеризуется преимущественно прерывистым, а в северной части сплошным распространением многолетнемерзлых пород (ММП). Основные изменения состояния природной среды здесь связаны с бурением и работой скважин, строительством и эксплуатацией магистральных и промысловых газопроводов, продуктопроводов, компрессорных станций, установок комплексной подготовки газа, дорог, линий электропередач и возведением производственных и жилых объектов. На территории полуострова осваиваются, в основном, газовые и газоконденсатные месторождения, на которых сегодня добывается почти 90% всего природного газа Российской Федерации. Наиболее заметные нарушения природного ландшафта здесь связаны с лесными и тундровыми пожарами, охватывающими большие площади [1,2]. На горях после уничтожения теплоизолирующего РП 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. Уничтожение и смена РП может привести 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.

Для характеристики трансформаций природных ландшафтов обязательным условием является определение эталонных территорий ненарушенного состояния, однако даже природоохранные участки (например, Надымский заказник) уже не могут быть использованы для этих целей, поскольку и в их пределах отмечаются существенные антропогенные нарушения природной среды. В данной работе зоны естественного ненарушенного состояния определялись по участкам коренных типов растительности с периодом восстановления, превышающим время с момента начала освоения месторождений и их возможного поражения. Подобные типы растительности и места их нахождения выявляются по данным наземных наблюдений или иной достоверной информации. В связи с этим для районов тундры и лесотундры существует другая проблема – отсутствие крупных выделов коренной растительности, которые можно было бы оконтурить по космическим данным низкого пространственного разрешения. В настоящей работе была использована методика, основанная на комплексном анализе многоспектральных данных ДЗЗ низкого, среднего и высокого пространственного разрешения, а также результатов наземных наблюдений на локальных участках. Для определения границ нарушенных зон по данным ДЗЗ исходного (более низкого) пространственного разрешения использовались материалы, характеризующие зоны нарушений отдельных фрагментов исследуемой территории, на которые имеются данные более высокого пространственного разрешения, и так вплоть до уровня наземных наблюдений.

Использовались снимки спутников NOAA (низкого разрешения) для характеристики трансформаций на всем Тазовском полуострове, спутников Landsat (среднего разрешения) на фрагмент территории Тазовского полуострова, а также снимки КФА–1000 (высокого разрешения) на фрагмент снимков Landsat. По результатам наземных наблюдений, проведенных в границах снимка КФА–1000, были оконтурены участки однородной коренной растительности (ягельники, лиственничные древостои) и другие поверхности ненарушенного состояния, используемые в качестве эталонов (песчаные отмели, водные поверхности). На первом этапе работы анализировались трансформации РП центральной

части Уренгойского НГКМ, на втором – по всему Тазовскому полуострову.

Оценка трансформаций растительности на территории центральной части Уренгойского НГКМ

Спектральные методы анализа данных ДЗЗ, в первую очередь оптического диапазона длин волн, на сегодняшний день являются наиболее эффективным инструментом для изучения процессов трансформации РП, поскольку позволяют разделять типы растительности и определять занимаемые ими площади проективного покрытия. Следует отметить, что результаты обработки исходных данных, полученные по разным алгоритмам, могут существенно отличаться. В работах подобного рода обоснование выбора алгоритмов должно стать методической нормой, и только в этом случае результаты, полученные разными исследователями, могут быть сопоставимы и рассматриваться в комплексе с другими материалами. На основе такого подхода могут быть разработаны нормативные документы, регламентирующие порядок обработки и интерпретации данных ДЗЗ для оценки изменений состояния природной среды, что может служить основанием более широкого использования данных ДЗЗ, в том числе, на предприятиях нефтегазовой отрасли.

Территория Тазовского полуострова и Уренгойского НГКМ в частности характеризуется большим числом видов РП, в то время как возможности классификации типов поверхности ограничиваются числом спектральных каналов систем ДЗЗ. 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 данным спутника Landsat типов поверхности, в первую очередь, типов РП, являющихся геоботаническими индикаторами происходящих изменений.

Известно, что антропогенные воздействия в аналогичных тундровых районах приводят к изменению 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 серии Landsat [6]. Эти типы растительности могут быть использованы в качестве геоботанических индикаторов антропогенного стресса на данной территории. Среди них следует

выделить ягель (лишайник вида *Cladonia rangiferina*), поскольку он очень чувствителен к антропогенным воздействиям и восстанавливается несколько десятков лет. Оленьи пастбища (ягельники) отнесены к наиболее уязвимым звеньям экологических систем на осваиваемых территориях севера Западной Сибири.

Хорошо различимыми типами поверхности, традиционно характеризующими антропогенные трансформации ландшафта тундры и лесотундры, являются также водные поверхности, открытые почвы (глины, песчаники), техногенные объекты, а также гари. Другой особенностью территории является пространственное совмещение большинства техногенных объектов и песчаников, поскольку в районах распространения ММП практически все строительство осуществляется с песчаной отсыпкой под основание объектов. В результате, спектры отражения техногенных объектов (особенно незначительных по площади) близки к спектрам песчаника. В этой связи классы песчаников и техногенных объектов объединялись в один класс.

В данной работе были опробованы все стандартные алгоритмы неконтролируемой, контролируемой и субпиксельной классификации, представленные в программном комплексе ENVI

4.7. 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, использовался снимок КФА-1000 (15 июля 1988 г. съемки) с более высоким пространственным разрешением 5 м, охватывающий территорию наземных наблюдений. Близость дат съемки, проводившихся в один сезонный период, исключает различия в спектральных характеристиках РП, связанных с фенологическими фазами. Использование снимка КФА-1000 для проверки достоверности классификации данных со спутника Landsat обосновывается тем обстоятельством, что по снимку более высокого пространственного разрешения, полученному практически в то же время (двумя неделями ранее), можно независимо и с более высокой точностью оценить площадь покрытия исследуемых типов поверхности.

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 техногенным объектам и гарям (рис.1).



Рис. 1

Обучающие участки основных типов классифицируемых поверхностей:

а – ягель; б – зеленый мох; в – лесные массивы, пески, водные поверхности; г – гари.

На основе обучающих участков ландшафта по данным спутника Landsat были определены сигнатуры спектральной яркости выбранных типов классифицируемых поверхностей, характеризующих их состояние на начало августа (рис. 2). Участки сплошного лесного массива, представленного, в основном, лиственницей, обозначены как класс «зелень», поскольку они достаточно контрастно

алгоритму. Классификация проводилась по всем перечисленным выше алгоритмам, но для сравнения были оставлены результаты обработки по алгоритмам «Махалобиса», «Максимум правдоподобия» и «Минимальных расстояний», по которым расхождение в значениях площади класса «ягель» не превышало 10% от значений площади этого класса, определенной по КФА-1000.

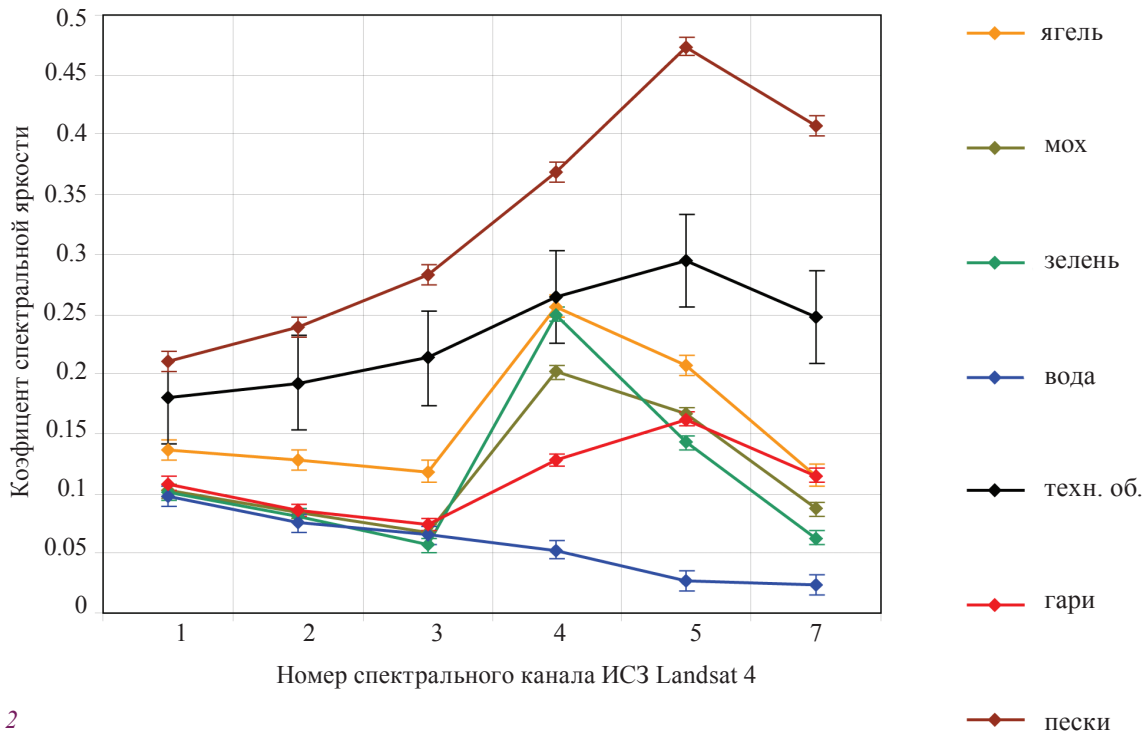


Рис. 2

Спектральное распределение коэффициентов яркости для классифицируемых типов покрова по данным спутника Landsat 4. Вертикальные штрихи на графике соответствуют удвоенным величинам среднеквадратичного отклонения

выделяются на фоне типичной тундровой растительности, в первую очередь, за счет высокого содержания хлорофилла. Однако по этой же причине они плохо отделимы от участков сплошного покрова другой сосудистой растительности (кустарничковой, травяной). В рамках данной задачи они объединены в один класс, хотя, в принципе, отделение древостоев возможно с использованием дополнительных дешифровочных признаков.

Для определения достоверности результатов классификации, проведенной по различным алгоритмам, использовались данные спутника Landsat 4 1988 г. съемки.

Исследуемая территория включала тестовую площадку, покрываемую снимком КФА-1000, а также все обучающие и контрольные участки для проверки достоверности классификации по каждому

Анализ матриц ошибок показал, что общая точность классификации по перечисленным выше алгоритмам составляет, соответственно, 97.67%, 99.72%, 99.81%. Столь высокая достоверность классификации может быть связана с небольшим числом классов, а также с пространственно близким расположением обучающих и контрольных участков наземных наблюдениях. В то же время, по площадям проективного покрытия на всей территории результаты классификации существенно отличаются. Сравнение с данными высокого разрешения КФА-1000 показало, что наиболее достоверной в данном случае является классификация по алгоритму «Минимальных расстояний». Аналогичная классификация была проведена по данным спутника Landsat 7 2001 г. съемки. Предварительно спектральные яркостные характеристики снимка 2001 г. были

приведены в соответствие снимку 1988 г. Результаты классификации приведены в *таблице 1* и на *рис.3*.

Таблица 1

Результаты классификации по алгоритму «Минимальных расстояний»

№		Занимаемая площадь по классам %					
		ягель	мох	зелень	вода	гари	техн. об.
1	Данные 1988 г.	15.23	59.03	2.93	7.64	7.61	7.56
2	Данные 2001 г.	9.54	61.49	7.24	8.18	5.92	7.63
3	Разница 2001 и 1988 гг.	- 5.69	2.46	4.31	0.54	- 1.69	0.07

Дополнительно для анализа изменений состояния РП использовались спектральные индексы NDVI и SWVI. Индекс $NDVI = (Ch4 - Ch3) / (Ch4 + Ch3)$, (Ch3 и Ch4 значение спектральной яркости в 3 и 4 спектральных каналах сканера Landsat) - характеризует содержание хлорофилла в РП. По разности значений NDVI могут быть установлены участки увеличения и уменьшения содержания хлорофилла в РП (*рис.4 а*). Для типичной тундровой растительности значения индекса $NDVI > 0.15$ [3,9,10].

Индекс $SWVI = (Ch5 - Ch4) / (Ch5 + Ch4)$ 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.2*). По разности значений этого параметра можно судить о возникновении новых гарей и развитии РП всех типов (*рис.4 б*). Результаты классификации по изменениям индексов NDVI и SWVI даны в *таблице 2*. Область фоновых значений (без изменений) определялась по эталонным участкам, отнесенным к ненарушенным территориям. Участки водных поверхностей и техногенных объектов (включая пески), установленные по данным 1988 и 2001 гг. съемки, объединялись и маскировались, составляя в сумме 18.5 %.

В целом, результаты изменений по обоим индексам свидетельствуют о преобладании процес-

сов 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 его изменение не может быть зарегистрировано по данным съемки со спутника Landsat.

Таблица 2

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

	Неизмененные территории, %	Зоны развития РП, %	Зоны деградации РП, %
NDVI	68.8	8.8	3.9
SWVI	57.5	19.5	4.5

Индекс SWVI в данном случае характеризует изменения за период с начала освоения месторождения (1978 г.), поскольку все зоны развития РП относятся к территориям, претерпевшим антропогенный стресс до 1988 г. Это подтверждается результатами ретроспективного анализа серии панхроматических космических снимков (КАТЭ-200, КФА-1000) 1976 – 1993 гг. съемки на отдельные участки этой территории (*рис.5*) [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 г., классифицированных по алгоритму «Минимальных расстояний». Разница в этих площадях может быть отнесена к участкам старых гарей (или снятого растительного покрова), на которых процесс сукцессии РП не происходит.

Период с 1988 по 2001 гг. характеризуется стабильной эксплуатацией Уренгойского НГКМ, 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 нарушениям коренного РП подверглось порядка 31.6% площади, из них порядка 7.6% за счет строительства объектов и 24.0% из-за сопутствующих пожаров и уничтожения РП.

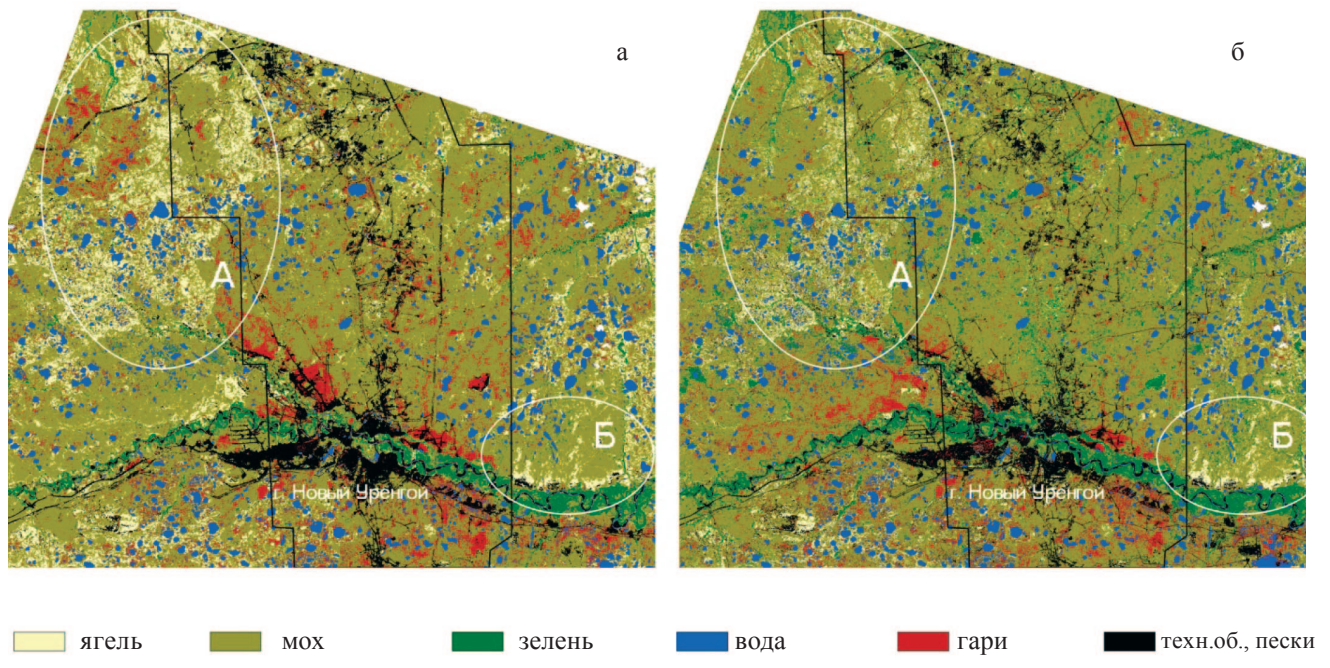


Рис. 3

Иллюстрация карт проективного покрытия классифицированных типов поверхности по данным спутников Landsat 4, 7 1988 и 2001 гг. съемки на территории центральной части Уренгойского НГКМ.

Черным контуром показаны границы лицензионного участка

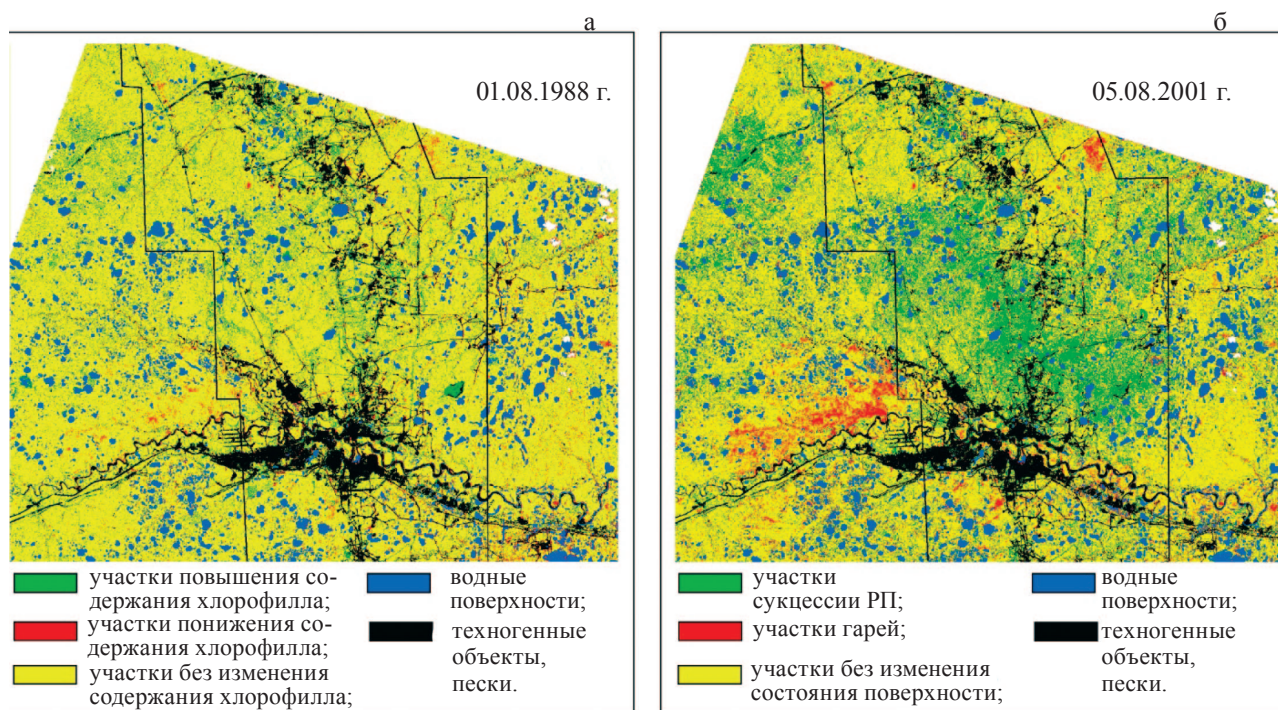


Рис. 4

Иллюстрация карт изменения РП за период с 1988 по 2001 гг. по спектральным индексам NDVI (а) и SWVI (б) на территории центральной части Уренгойского НГКМ

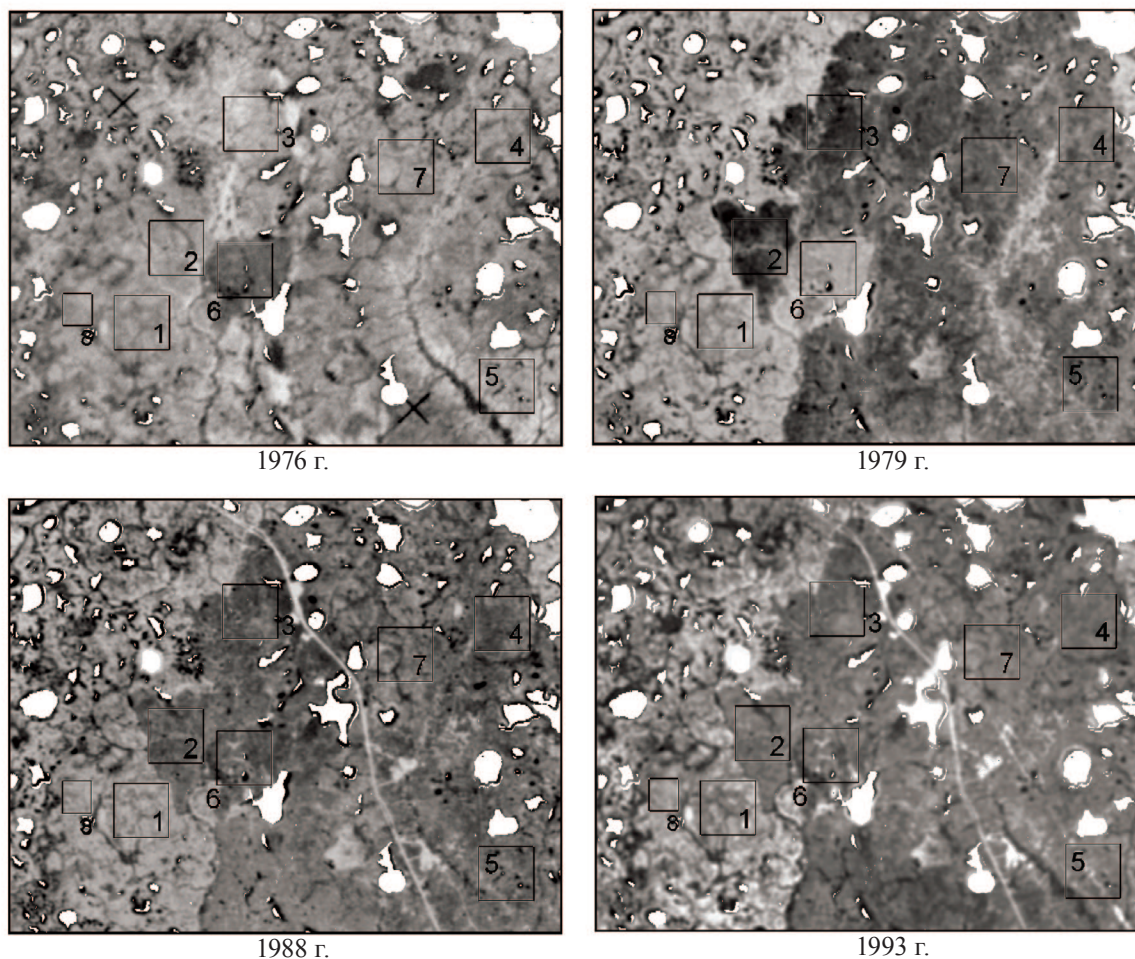


Рис. 5

Фрагменты панхроматических космических снимков на участок территории Уренгойского НГКМ, полученных в разные годы с начала освоения месторождения

Несмотря на продолжающийся антропогенный стресс и новые 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 месторождения продолжался процесс уменьшения площади проективного покрытия ягеля. За это время она уменьшилась еще на 6%, что приблизи-

тельно в 4 раза 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 левой верхней части карты (зона А, рис.3). Этот факт не может быть связан с ошибками в обработке данных, поскольку в правой нижней части района небольшие участки того же класса практически не изменились в границах и в площади (зона Б, рис.3). Возможно, что уменьшение площади ягеля связано с трансграничным переносом

загрязнения по воздуху или в подземной гидросфере, однако не исключена связь с другими антропогенными факторами.

Оценка трансформаций коренной растительности на территории Тазовского полуострова

Районирование нарушенных территорий Тазовского полуострова, площадью около 70 000 км², было реализовано в м-бе 1:1 000 000 на основе снимков спутника NOAA начала августа 1988 и 2001 гг., покрывающих одним или двумя кадрами всю территорию полуострова. Как было отмечено выше, нарушенные участки наиболее достоверно могут быть определены по индексу SWVI. Однако характеристики спектральных каналов радиометров Landsat и NOAA не идентичны, и для определения пороговых значений, характеризующих зоны нарушенного состояния поверхности по данным спутника NOAA, невозможно сформировать индекс, полностью аналогичный SWVI. В то же время, нарушения растительных покровов тундры и лесотундры характеризуются изменением радиационной температуры (РТ) поверхности, и результаты оценки, полученные на основе анализа ее пространственного изменения, практически идентичны результатам по индексу SWVI [4]. Непосредственно после уничтожения покрова или пожара РТ поверхности дневного времени съемки резко увеличивается, а потом, в связи с сукцессиями вторичных видов растительности, постепенно понижается. Таким образом, по разности значений РТ поверхности, вычисленной на основе данных тепловых каналов спутника NOAA разновременных дневных съемок, можно судить о стадиях нарушения и восстановления РП.

На *рис.6* приведена карта трансформаций коренной растительности на Тазовском полуострове, построенная на основе данных спутников NOAA. На карте обозначен тестовый участок центральной части Уренгойского НГКМ, по которому определялись зоны нарушенного состояния РП и погрешность оценки. Пороговые значения разности РТ по данным спутника NOAA, характеризующие нарушенные области на всем полуострове, определялись по пороговым значениям разности индекса SWVI, характеризующего эти области в пределах тестового участка. Для этой цели использовалась только часть тестового участка, содержащая половину площади нарушенных территорий. Вторая часть использовалась для определения погрешности оценки, которая составила около 5%.

На основе данного подхода может быть восстановлена хронология нарушений коренной

растительности и количественно, по изменению площадей проективного покрытия типов РП, могут быть оценены масштабы нарушений на всем полуострове. Места наибольшей концентрации нарушений РП до 1988 г. были сосредоточены в пределах контуров трех крупнейших месторождений: Медвежьего, Уренгойского и Ямбургского. В абсолютных показателях площади максимальных нарушений отмечены на Ямбургском (более 1800 км²), Уренгойском (около 1200 км²) и на Медвежьем (более 1100 км²) месторождениях. Концентрация зон нарушений на Уренгойском и Медвежьем месторождениях практически полностью совпадает с местами сосредоточения промышленных объектов. На Ямбургском месторождении основные нарушения отмечаются на севере и ближе к его юго-восточной границе, в то время как в центре, на участке сосредоточения основных промышленных объектов (*рис.6, треугольник белого цвета*), площадь трансформаций незначительна. Тот факт, что эти территории не отмечаются как нарушенные, скорее всего связан с наличием большого числа крупных и мелких озер. Низкое пространственное разрешение используемых снимков не позволяет уверенно выделять здесь участки суши с РП на фоне большого скопления водоемов. Уточнение площади трансформаций растительности на данной территории возможно на основе снимков более высокого пространственного разрешения, например, со спутников Landsat, как это было сделано на Уренгойском месторождении.

Площадь, относимая к месторождениям и лицензионным участкам, составляет около 35% от исследуемой территории Тазовского полуострова. Площадь трансформированного РП в сумме составляет 13.9% (около 10000 км²), в том числе 11.2% площадей, относящихся к нарушенным до 1988 г. и 2.7% – за период с 1988 по 2001 гг.

На основе составленной карты (*рис.6*) определены процентные показатели площади трансформированного РП в пределах контуров основных месторождений (*таблица 3*). Наибольший относительный показатель суммарных нарушений РП отмечен на самом первом из осваиваемых месторождений – Медвежьем. В таблице приведены отношения показателей S1/S12, характеризующие весовые коэффициенты нарушений до 1988 г. для каждого месторождения. Эти отношения показывают, что для большинства месторождений доминируют нарушения, наблюдавшиеся до 1988 г., в том числе и для относительно недавно введенных (в начале 2000-х гг.) в эксплуатацию месторождений.

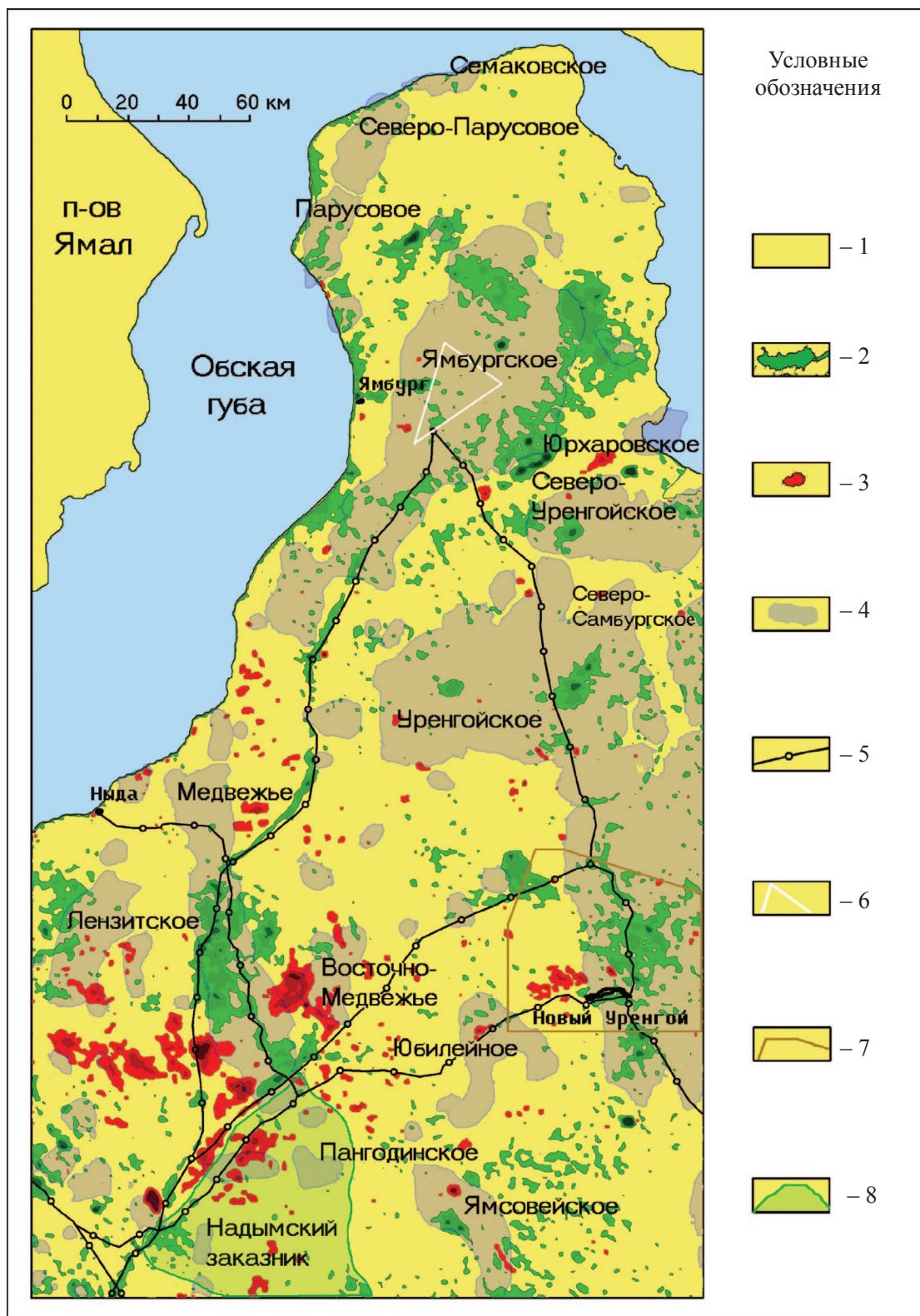


Рис. 6

Карта современных трансформаций коренной растительности на территории Тазовского полуострова (по данным спутника NOAA, 1988 и 2001 гг. съемки):

- 1 – участки без изменения РП; 2 – участки нарушений РП до 1988 г.; 3 – участки нарушения РП в период с 1988 по 2001 гг.; 4 – территории основных нефтегазоконденсатных месторождений (в границах ГВК и ВНК); 5 – магистральные газопроводы; 6 – границы участка сосредоточения промышленных объектов Яamburgского НГКМ; 7 – границы участка детальных исследований Уренгойского НГКМ; 8 – границы территории Надымского заказника

Таблица 3.

Процентные показатели площади трансформаций коренного РП в контурах основных нефтегазовых месторождений Тазовского полуострова

№	Месторождения, природоохранные территории	Год ввода в эксплуатацию	В пределах контуров месторождения, %			
			до 1988 г. (S1)	с 1988 по 2001 гг. (S2)	всего к 2001 г. (S12)	S1/S12
1	Медвежье	1971	33.4	3.9	37.3	0.895
2	Уренгойское	1978	13.6	0.4	14.0	0.971
3	Ямбургское	1984	20.7	0.2	20.9	0.990
4	Юбилейное	2000	4.1	1.5	5.6	0.732
5	Северо-Уренгойское	2001	10.5	0.2	10.7	0.981
6	Юрхаровское	2003	1.4	0.1	1.5	0.933
7	Лензитское	Перспективное	10.7	6.2	16.9	0.633
8	Ямсовейское	-	12.8	3.1	15.9	0.805
9	Восточно-Медвежье	-	6.4	14.1	20.5	0.312
10	Северо-Самбургское (часть)	-	12.4	0.6	13.0	0.954
11	Пангодинское	-	0.0	0.0	0.0	-
12	Семаковское	-	5.4	0.0	5.4	1.00
13	Парусовое	-	16.9	0.0	16.9	1,00
14	Северо-Парусовое	-	2.3	0.0	2.3	1.00
15	Надымский заказник	-	4.5	5.5	9.9	0.455

Примечание:

S1 – процент площади РП в контурах месторождения, нарушенного до 1988 г.

S2 – процент площади РП в контурах месторождения, нарушенного с 1988 по 2001 гг.

S12 – суммарный процент площади нарушений РП в контурах месторождений к 2001 г.

Из полученных результатов следует, что около 80% нарушений происходили на стадиях разведочного бурения и строительства основных нефтегазовых объектов. В то же время нельзя исключать вероятные позитивные тенденции в природоохранной деятельности предприятий нефтегазовой отрасли за последние годы, что могло способствовать снижению интенсивности нарушений РП.

Из 13.9% нарушенных территорий Тазовского полуострова в контуры месторождений попадают только 5.9%, в то время как 8.0% относятся к территориям вне месторождений.

Очевидно, что промышленная и хозяйственная деятельность на полуострове не ограничивается контурами месторождений или лицензионных участков. На территории полуострова пробурено более 300 разведочных скважин, действует разветвленная сеть магистральных и промысловых газопроводов, проложена железная дорога через г. Новый Уренгой до пос. Ямбург, а также шоссейные и грунтовые дороги, связывающие промышленные объекты всех место-

рождений, и вся эта деятельность сопровождается нарушением состояния природной среды. В частности, на карте отчетливо фиксируются трансформации растительности вдоль газопровода Ямбург–Ныда и вдоль газопровода на севере Надымского заказника. Почти 10% территории заказника также претерпели изменения, причем более половины трансформаций произошло здесь после 2001 г.

Заключение

Нарушение РП неизбежно влечет за собой изменения в ландшафте, биосфере, криосфере и гидросфере. В частности, для лесотундровой зоны и южной тундры трансформации растительности, сопровождающиеся формированием вторичных видов, приводят к повышению температуры сезонного слоя на 1.0–1.5°C, что фиксируется даже через 15–20 лет. Все это сопровождается изменением направлений движения поверхностных и грунтовых вод, образованием подтоплений на одних участках и

дренированием других. Как правило, в большинстве случаев очаги нарушений РП приурочены к местам расположения промышленных и хозяйственных объектов, и изменение состояния мерзлых грунтов становится опасным для самих объектов.

Нарушения природных ландшафтов, по масштабам и характеру аналогичные тем, что выявлены на месторождениях Тазовского полуострова при освоении месторождений в районах сплошного распространения мерзлоты, в частности, на полуострове Ямал, могут привести к катастрофическому затоплению территорий, поскольку мерзлые грунты на Ямале отличаются высокой льдистостью и соленостью. В этой связи чрезвычайно важна организация системы мониторинга за состоянием РП на осваиваемых месторождениях полуострова Ямал, а учитывая динамичный характер вероятных антропогенных трансформаций ландшафта, полный контроль над ними может быть осуществлен только на основе данных аэрокосмических наблюдений.

Приведенные в работе результаты и методические решения могут быть использованы при формировании региональной системы космического мониторинга территории Тазовского полуострова с обновлением по мере появления кондиционных, совместимых по спектральным каналам и синхронизированных по времени данных космической съемки. Подобная система не является оперативной, однако позволяет оценить характер, тенденции и масштабы изменения состояния РП, а также пространственную приуроченность участков новых нарушений к техногенным объектам. Очевидно, что с 2001 г. на полуострове происходили трансформации РП, которые могли бы характеризовать изменение интенсивности антропогенной нагрузки за последние годы. К сожалению, в 2003 г. была нарушена работа сканера ETM+ спутника Landsat 7, и стало невозможно использовать его снимки в качестве эталонных для проверки результатов, построенных по данным спутника NOAA. В то же время, с 2009 г. восстановлена работа сканера TM спутника Landsat 5, полностью совместимого по спектральным каналам и по времени пролета со спутником Landsat 7. В этой связи в ИПНГ РАН планируется продолжить исследования и дать количественную оценку трансформаций РП на Тазовском полуострове, произошедших уже за последние годы.

Статья подготовлена по материалам работы, выполненной по программе фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН «Природные и социально-экономические факторы изменения окружающей среды» (координатор программы – академик В.М. Котляков).

Литература

1. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции. Под ред. Н.Г. Москаленко. Коллектив авторов // Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень. 2006. С.357
2. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. Под ред. Е. С. Мельникова (ч. I, III) и С. Е. Гречищева (ч. II, III, IV) // М.: ГЕОС, 2002. С. 402
3. *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. Сборник научных статей. Выпуск 3., том II, – М.: ООО «Азбука-2000», 2006 г., С.315-319.
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.
6. *Лавриненко И.А., Лавриненко О.В.* Применение спектральных космических снимков при изучении лишайников как компонентов тундровых экосистем // Вестник Института биологии, №10 от 28 июля 1998 г. (<http://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/98-10/05-10.html>).
7. *Салихов З. С., Андреев О. П., Арабский А. К., Кондратьев С.Д., Павлушин В.Б., Ставкин Г.П.* Система менеджмента риска эксплуатации газопромысловых сооружений в геокриологических условиях Арктики и полуострова Ямал // Наука и техника в газовой промышленности. 2006. № 3. С.18–25.
8. *Седых В.Н.* Парадоксы в решении экологических проблем Западной Сибири // Новосибирск: Наука, 2005. С.160
9. *Huete A.R.* Environmental monitoring with remote sensing // J. Artiola, I. Pepper, M. Brusseau (eds). N.Y., Acad. Press, 2004, chap. 11, P.183-206.
10. *Stroppiana D., Pinnock S., Pereira J. M. C., Gregorie J.-M.* Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia // Remote Sensing of Environment. 2002. № 82. P.21-37.