

# Использование данных ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования

В.Н. Копылов, Г.А. Кочергин, Ю.М. Полищук, В.А. Хамедов

*Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий*

*628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Мира, 151*

*E-mail: [kvn@uriit.ru](mailto:kvn@uriit.ru)*

Описано применение дистанционных методов при решении региональных задач рационального природопользования в регионе, в котором добывается около 60% российской нефти - в Ханты-Мансийском автономном округе- Югре. Регион характеризуется существенным антропогенным влиянием на окружающую среду и труднодоступностью территории. Рассмотрены методические вопросы использования космических снимков для мониторинга лесов в условиях воздействия антропогенных и природных факторов. Представлена автоматизированная технология дистанционного мониторинга мест добычи и транспортировки нефти с целью обнаружения и картирования разливов нефти. Описана информационная технология прогноза ежедневных и максимальных уровней воды в период весеннего половодья Средней Оби с использованием наземной и спутниковой информации. Рассмотрен подход к изучению криогенных процессов на севере Сибири, основанный на анализе космических снимков. Эта задача актуальна в связи с влиянием глобального потепления на многолетнюю мерзлоту в местах добычи и транспортировки нефти и газа.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, космический снимок, космический мониторинг, мониторинг леса, классификация, нефтяные разливы, весеннее половодье, гидрологический прогноз, криогенные процессы.

## Введение

Северная Сибирь является базовым ресурсодобывающим районом России. Здесь добывается основная часть российского газа, нефти, цветных металлов, алмазов, урана и др. Интенсивное природопользование оказывает отрицательное воздействие на хрупкую северную природу. В этих условиях необходим непрерывный мониторинг изменений окружающей среды и выявление отрицательных факторов, влияющих на природу. Другими важными задачами являются исследование закономерностей размещения полезных ископаемых с целью поиска новых месторождений и оценка рациональности применяемых методов добычи и транспортировки полезных ископаемых. В условиях труднодоступности большинства северных территорий и малой плотности населения эти задачи довольно сложны. Одним из способов, облегчающих решение этих задач, является применение методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В настоящее время благодаря совершенствованию бортовой съемочной аппаратуры, развитию цифровых методов обработки данных и обеспечению высокой периодичности съемки наиболее востребованными стали методы ДЗЗ из космоса.

В статье описаны задачи, решаемые с помощью данных ДЗЗ из космоса в одном из северных регионов Сибири, в котором добывается около 60% российской нефти, - Ханты-Мансийском автономном округе- Югре. Представлены информационные технологии, разработанные в центре ДЗЗ Югорского научно-исследовательского института информационных технологий (ЮНИИ ИТ, г. Ханты-Мансийск). Информационные технологии используют данные ДЗЗ среднего и низкого пространственного разрешения (10- 1000 м), принимаемые в центре ДЗЗ, и данные высокого пространственного разрешения (0,4- 3 м), приобретаемые у официальных дистрибьюторов данных ДЗЗ, получаемых зарубежными космическими аппаратами.

## Космический мониторинг леса

В силу того, что 52% (280 тыс. км<sup>2</sup>) всей территории Ханты-Мансийского автономного округа- Югры (535 тыс. км<sup>2</sup>) занимает лесная растительность, негативное воздействие нефтедобычи сказывается, прежде всего, на состоянии лесов. Многочисленные лесные пожары, строительство автодорог, вызывающее подтопление и усыхание лесных массивов, незаконные вырубки лесных массивов и отклонения от строительных проектов, биологическое повреждение и усыхание лесных насаждений в результате химического загрязнения почв и атмосферного воздуха причиняют значительный ущерб лесному хозяйству региона. Актуальным вопросом стала организация оперативного мониторинга лесов в автономном округе.

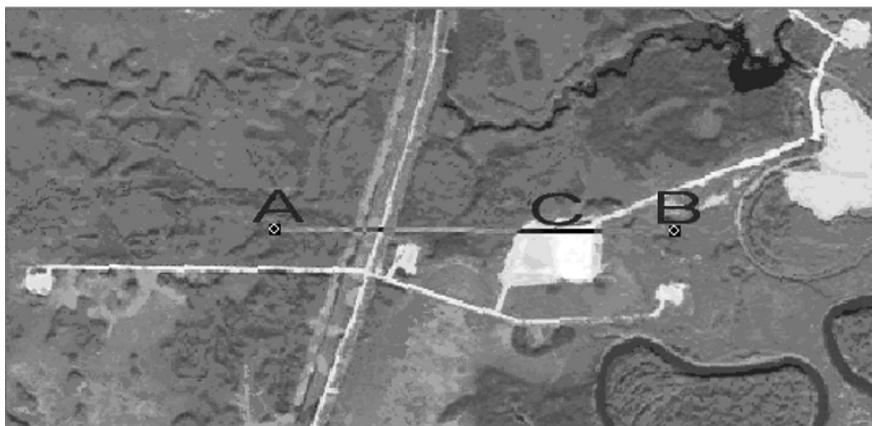


Рис. 1. Фрагмент космического снимка лесной территории с профилем АВ

Авторами были разработаны методические вопросы использования космических снимков для мониторинга леса в условиях воздействия антропогенных и природных факторов [1]. В качестве антропогенного воздействия на лесной фонд рассматривались, прежде всего, нарушение правил использования лесов, самовольное использование лесов, уничтожение лесных ресурсов, незаконная рубка, невыполнение правил использования лесов при строительстве, реконструкции, эксплуатации линейных объектов. Были определены требования к выбору спектрального диапазона и пространственного разрешения данных ДЗЗ при поиске антропогенных нарушений. Анализ показал, что новые объекты в лесу контрастно выделяются в диапазоне 0,6-0,7 мкм, в диапазоне 0,5 - 0,6 мкм объекты менее различимы (рис.1,2), а в диапазоне 0,8-0,9 мкм плохо различимы. При этом космические снимки со средним пространственным разрешением (3-30 м) целесообразно использовать для картирования объектов на лесных территориях и для контроля за соблюдением проектных решений на этапе строительства и эксплуатации объекта. Для получения количественных характеристик объектов предпочтительны снимки с высоким пространственным разрешением (0,4-3 м). Было также выявлено, что для обнаружения новых объектов невозможно использовать зимние снимки, так как безлесные объекты, например, вырубки, неотличимы от покрытых снегом заболоченных открытых участков местности и участков пойм рек. Для сравнительного анализа снимков разных лет необходимо подбирать снимки одного и того же сезона.

Одной из задач мониторинга воздействий антропогенного характера на лесные территории является выявление несоответствий и расхождений проектной документации с фактическим состоянием объектов на территории лесного фонда. Авторами разработана методика выявления несоответствий и расхождений сведений на основе космических снимков. Методика основана на создании векторизованного контура объекта средствами геоинформационной системы (ГИС) и наложении полученного контура на снимок, как показано на рис. 3. На рисунке зеленым контуром обозначен лесной участок, выделенный под обустройство объектов нефтегазового комплекса согласно проектной документации. Контур участка, совмещенный с космическим снимком,

показывает существующие несоответствия фактического пространственного расположения объектов (кустовые площадки) с проектной документацией. Существующие расхождения в пространственном расположении на рисунке указаны цифрами 1-4. Кроме того, вне отведенных для объекта участков на снимке обнаружены вырубki леса, обозначенные цифрами 5, 6, 7. Пространственное разрешение 10 м снимка с прибора AVNIR2 КА ALOS позволяет провести оценку площади нарушенных лесных участков с точностью до 0,1-0,2 га.



Рис. 2. Изменение яркости по профилю АВ на снимке Рис.1 с КА ALOS в диапазонах 0,61-0,69 мкм и 0,76-0,89 мкм

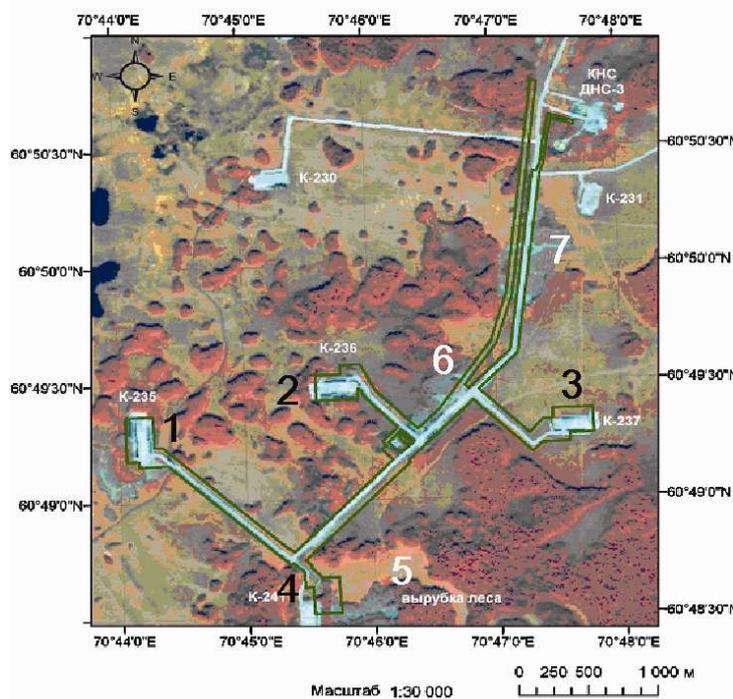


Рис. 3. Наложение проектного контура объекта на космический снимок

Основным фактором природного отрицательного воздействия, требующим разработки методики дешифрирования с целью оценки последствий, являются лесные пожары. Разработана методика оценки последствий лесных пожаров на основе обнаружения и картирования выгоревшего участка леса (гари), которая реализуется средствами ГИС путем наложения контура этой гари на цифровую карту породного состава леса, определения площадей леса разного породного состава на выгоревшем участке леса и последующего расчета ущерба [2]. Установлено, что для надежного обнаружения и выделения лесных гарей следует выбирать спектральный диапазон 0,7-0,8 мкм. Однако с течением времени спектральный коэффициент яркости

гари меняется (гарь зарастает подростом) и выделить ее в этом случае сложнее. В качестве выхода из положения предлагается использовать для синтеза цветного изображения радиолокационный снимок и 2 канала оптического диапазона. В результате многочисленных экспериментов

выяснено, что наилучшей RGB-комбинацией является та, которая получается расположением каналов в следующей последовательности: красный - радиолокационный, зеленый – 0,8-0,9 мкм, синий – 0,5-0,6 мкм. При такой комбинации каналов лесные гари, имеющие на радиолокационном снимке более высокую яркость, будут усилены благодаря эффекту синергизма сигналами оптических каналов и станут красными. Участки снимка, соответствующие нетронутому пожаром лесу, будут зеленые. Лесные гари в этом случае хорошо распознаются на зеленом фоне.

Другим вариантом использования радиолокационных снимков является получение RGB-композиции из разновременных радиолокационных снимков. Такой подход позволяет достаточно хорошо выделить элементы лесной растительности за счет различной яркости объектов на разновременных снимках. Цветовая палитра созданного цветосинтезированного снимка существенно зависит от комбинации каналов. Предпочтительнее располагать радиолокационные снимки в хронологическом порядке. Благодаря такой комбинации упрощено временное ранжирование гарей по цвету. При этом более светлые гари соответствуют старым гарям, так как они присутствуют во всех трех каналах с повышенной яркостью. Возможность съемки поверхности Земли, экранированной облачностью или дымовыми шлейфами от пожаров, и независимость от условий освещенности Солнцем также являются существенными достоинствами радиолокационных снимков.

Для реализации информационной технологии оценки последствий лесных пожаров авторами разработана методика создания цифровой карты породного состава лесов на основе космических снимков оптического диапазона среднего пространственного разрешения. В результате получена цифровая карта породного состава лесов Югры в масштабе 1:100 000. Площадь охвата территории картой составляет около 490 тыс. км<sup>2</sup>. При этом общий объем всех растровых слоев карты равен 2,5 Гб. При создании карты использовались космические снимки с пространственным разрешением 30 м, полученные с аппаратов LANDSAT-7 и Метеор-3М (2000-2005 гг.), и лесотаксационные материалы в качестве обучающих выборок для классификации пород деревьев. Подробный доклад на эту тему представлен на конференции в секции «Методы дистанционного зондирования растительных и почвенных покровов».

### **Обнаружение и картирование разливов нефти**

Другой существенной проблемой в Ханты-Мансийском автономном округе- Югре является высокая аварийность в местах добычи и транспортировки нефти, сопровождающаяся разливами загрязняющих земельные и водные ресурсы жидкостей. В 2007 году по официальным данным на нефтепромышленных сетях зарегистрировано 5480 аварийных разливов нефти, нефтесодержащей смеси и минерализованной воды, в результате которых в окружающую среду попало более 10000 тонн загрязняющих веществ. Для сравнения, в 2006 году было зарегистрировано 4842 аварии. В связи с этим появилась необходимость разработки дистанционных методов обнаружения новых и учета уже существующих разливов нефти.

В центре ДЗЗ ЮНИИ ИТ по заказу Департамента охраны окружающей среды и экологической безопасности Югры проведены работы по созданию автоматизированной технологии дистанционного мониторинга мест добычи и транспортировки нефти с целью обнаружения и картирования разливов нефти [3]. Разработанная технология состоит из трех основных этапов:

- 1) подбор и предварительная обработка космических снимков;
- 2) выделение нефтезагрязнений и анализ разновременных снимков;
- 3) формирование карт нефтезагрязнений и рекультивированных земель.

На первом этапе осуществляется подбор архивных космических снимков среднего разрешения и/или заказ оперативной съемки районов лицензионных участков, после чего проводится их геотрансформирование, коррекция атмосферных искажений, нормализация и др. стандартные процедуры предварительной обработки космических снимков.

На втором этапе проводится выделение нефтезагрязнений с помощью разработанного автоматизированного алгоритма распознавания с использованием космических снимков среднего разрешения. Алгоритм основан на использовании методов классификации с обучением и состоит из 5 шагов:

1 Шаг. Для исходного космического снимка рассчитывается нормализованный индекс вегетации NDVI. Диапазон значений индекса NDVI изменяется от -1 до 1. При этом значениям от 0,2 до 0,8 соответствует зеленая растительность на космическом снимке. Значениям от -0,3 до 0,2 соответствует открытая почва, песок, дороги и другие техногенные объекты. А значениям менее -0,3 соответствуют водные объекты. Экспериментально установлено, что разливы нефти на почве укладываются в диапазон индекса NDVI от -0,25 до 0,15.

2 Шаг. Для исходного космического снимка формируется маска на основе рассчитанных значений индекса NDVI, что позволяет исключить из дальнейшего анализа все области на снимке, для которых значения индекса NDVI лежат вне диапазона [-0,25; 0,15]. В частности, данная процедура позволяет исключить области леса, кустарника, травы, а так же крупные водоемы. После проведения этой процедуры оставшиеся на снимке объекты можно разделить на 3 класса: нефтезагрязнения, дороги и строения, неглубокие заболоченные водоемы.

3 Шаг. Формируются обучающие области для классификатора. Данный этап проводится экспертом, на основе полевых исследований или космических снимков высокого разрешения. Желательно выделить не менее 5-ти обучающих областей на снимке для каждого класса объектов, таким образом, чтобы каждому классу соответствовало не менее 1000 пикселей снимка. Выполнение этих требований позволяет классификатору выделить на снимке разливы нефти с большей точностью.

4 Шаг. После формирования обучающих областей проводится классификация маскированного по индексу NDVI космического снимка. В ходе работы были подобраны следующие пригодные для распознавания разливов нефти алгоритмы классификации космических снимков:

- алгоритм минимального расстояния (minimum distance);
- алгоритм максимального правдоподобия (maximum likelihood);
- алгоритм спектрального угла местности (spectral angle method).

5 Шаг. После проведения классификации космического снимка класс нефтезагрязнений из растрового изображения преобразуется векторный слой (рис.4) и сохраняется в одном из наиболее распространенных векторных форматов данных – в виде SHP-файла.



Рис. 4. Фрагмент космического снимка с выделенными контурами разливов нефти

На третьем этапе для каждого лицензионного участка формируется карта загрязненных нефтепродуктами земель. Карта рекультивированных земель формируется на основе анализа изменений спектральных характеристик площадей нефтезагрязнений с использованием 2-х и более космических снимков за разные годы. На этом этапе также проводится наполнение базы описаний нефтеразливов (имя лицензионного участка, компания–оператор, площадь загрязнения, дата загрязнения, фотография местности и др.).

Алгоритм реализован на языке IDL в программной среде ENVI и может применяться для космических снимков оптического диапазона, набор спектральных каналов которых содержит красный и ближний инфракрасный участки спектра. Параллельно с разработкой и программной реализацией алгоритма классификации были проведены полевые работы на 10 лицензионных участках Ханты-Мансийского автономного округа, в результате чего было зафиксировано около 70 мест нефтезагрязнений с привязкой их к карте с помощью GPS-приемника. Данные полевых исследований по 5 лицензионным участкам в совокупности со снимками высокого разрешения с космического аппарата QuickBird с разрешением 2,4 м использовались для подбора и правильной настройки параметров классификации, а также для достижения экспертом определенных навыков по обучению программы-классификатора. Данные по другим 5 лицензионным участкам использовались для верификации результатов работы алгоритма распознавания нефтезагрязнений. Верификация показала достоверность распознавания нефтезагрязнений около 80%.

### **Мониторинг весеннего половодья**

Ежегодные наводнения в весенний период представляют значительную угрозу для части населения, проживающей на Западно-Сибирской равнине на берегах крупных рек Обь, Иртыш, Тобол, Ишим и др. Во время таяния снега объем стока этих рек резко возрастает, иногда более чем в 1000 раз. Реки выходят из берегов и под водой оказываются большие территории. В случаях неточных прогнозов хозяйству регионов причиняется большой ущерб. В рамках гранта Губернатора Югры разработана автоматизированная технология прогноза ежедневных и максимальных уровней воды в период весенне-летнего половодья Средней Оби с использованием наземной и спутниковой информации. Основная цель технологии- повышение точности и степени детализации гидрологических прогнозов в регионе.

В основу прогноза характеристик весеннего половодья и притока воды в водохранилища в бассейнах рек Оби и Енисея положена концептуальная модель формирования стока сибирских рек [4]. Основные принципы построения модели:

- в бассейне выделяются ландшафтно-гидрологические районы и высотные зоны;
- в районах и высотных зонах пространственная неравномерность снегонакопления и емкостного поглощения учитываются с применением вероятностных распределений;
- русловое добегание воды рассчитывается с применением функции плотности вероятностного распределения времени добегания элементарных объемов воды и теоретических формул моментов распределения времени добегания.

Структурно модель состоит из блоков, выполняющих следующие функции:

- расчет снегонакопления по районам и высотным зонам бассейна;
- расчет снеготаяния и площади снегового покрытия;
- расчет водоотдачи бассейна от талых вод и жидких осадков с учетом поглощения и задержания воды;
- расчет динамического запаса воды на склонах и притока воды в русловую сеть;
- расчет руслового добегания воды к замыкающему створу.

Модель усваивает как метеорологические параметры (снегонакопление, температуру воздуха, осадки), так и гидрологические (уровни или расходы воды в речной сети бассейна).

Разработана гидролого-математическая модель формирования стока для речной системы Иртыша и Оби от верхних створов Тобольск и Колпашево до нижних- Ханты-Мансийск и Белогорье.

Для оптимизации параметров блока снегонакопления и снеготаяния гидролого-математической модели, оценки снегонакопления и картирования нормы запаса воды в снеге в горах по ретроспективным данным, а также для текущей корректировки прогноза притока воды и ежедневных уровней (расходов воды) в технологии используются космические снимки радиометра MODIS, установленного на борту космического аппарата Тетра. Процесс обработки спутниковых данных для определения площадей заснеженности речных бассейнов включает в себя ряд вычислительных процессов для подготовки данных, классификации, подсчёта площадей, вычисления композитов, подготовки обзорных изображений результатов, подсчёта статистики и т.п. [5].

Разработана автоматическая система обработки и предоставления данных о площадях заснеженности речных бассейнов по спутниковой информации, которая обеспечивает автоматическую обработку данных по бассейну Средней Оби с суточной периодичностью и предоставляют доступ к полученной информации потребителям посредством сети Интернет в любой момент времени. Разработано программное обеспечение для гидролога-прогнозиста, реализующее прогноз ежедневных и максимальных уровней воды в реках бассейна Средней Оби в период весеннего половодья. Практическое использование технологии показало хорошее качество прогнозов ежедневных и максимальных уровней воды в среднем течении Оби при заблаговременности прогноза от 1 до 7 суток. Подробный доклад на эту тему представлен на конференции в секции «Технологии и методы использования спутниковых данных в системах мониторинга».

### **Изучение динамики криогенных процессов на севере Сибири**

Одной из важных задач современных исследований северных территорий России является выявление особенностей влияния глобального потепления на состояние многолетнемерзлых пород (ММП). Важность этой задачи определяется тем, что большинство газовых месторождений и большое число месторождений нефти России располагается в зоне вечной мерзлоты Западной Сибири и снижение прочности ММП под воздействием потепления климата приводит к росту аварийности на трубопроводах и других сооружениях нефтегазового комплекса [6], вызывая рост экономических и экологических ущербов. В связи с этим изучение изменений криогенного состояния мерзлотных ландшафтов под воздействием глобального потепления климата является актуальной проблемой, решение которой ввиду труднодоступности территории Западной Сибири из-за высокой степени ее заболоченности невозможно без применения данных дистанционного зондирования поверхности Земли. Поэтому целью работы явилось изучение динамики современного криогенного состояния мерзлотных ландшафтов Западной Сибири в зоне распространения многолетней мерзлоты по космическим снимкам. Проведенный анализ литературных источников по использованию данных дистанционного зондирования в геокриологических исследованиях показал, что термокарстовые озёра, образующиеся в результате вытаявания подземных льдов различного генезиса, хорошо дешифрируются на космических изображениях и являются наиболее пригодными геоморфологическими индикаторами криогенных изменений поверхности в условиях потепления [7].

Для изучения динамики термокарстовых озер на исследуемой территории были выбраны 11 тестовых участков (ТУ), расположенных в разных зонах вечной мерзлоты и в различных геоботанических подзонах. 6 ТУ были выбраны в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты и 5 ТУ - в зоне сплошной вечной мерзлоты. При этом в подзоне арктической тундры располагался 1 ТУ, в подзоне субарктической тундры – 4 ТУ. По 3 ТУ располагалось в подзоне северной тайги и подзоне лесотундры.

Для исследования динамики термокарстовых озер на каждый тестовый участок подбирались разновременные космические снимки с 1973 по 2006 г. В период с 1973 по 2001 г. были использованы космические снимки м КА Landsat - 1, 4, 5, 7, а с 2005 по 2006 гг. – космические

снимки с КА Метеор -3М и радарные снимки с КА ERS-2. На каждом ТУ были выбраны по 40 наиболее крупных (более 20 га) термокарстовых озер, площади которых измерялись с помощью программных средств ГИС ERDAS IMAGINE 9.1. По результатам измерений площадей на каждом тестовом участке были рассчитаны: суммарные площади термокарстовых озер, абсолютные и относительные величины изменений суммарной площади озер за период исследования. Величина относительного изменения площадей рассчитывалась путем деления величины абсолютного изменения на суммарную площадь озер, определенную по снимкам начального года исследования.

Оказалось, что на широтах выше 67° с.ш. (зона сплошной вечной мерзлоты) наблюдается увеличение площадей термокарстовых озер. На широтах 66° с.ш. и ниже (зона прерывистой вечной мерзлоты) площади термокарстовых озер значительно сокращаются. Изменение характера геокриологических процессов (переход от сокращения площадей озер к их росту) наблюдается в интервале широт 66° - 67° с.ш., приблизительно совпадающем с границей зон сплошного и прерывистого типов распространения многолетнемерзлых пород. Таким образом, наблюдая за динамикой термокарстовых озер, можно отслеживать и прогнозировать смещение границы между зонами ММП и оценивать в этом районе экологический риск для инфраструктуры нефтегазового комплекса, дорог и др. Подробный доклад на эту тему представлен на конференции в секции «Методы дистанционного зондирования растительных и почвенных покровов».

Описанные применения методов ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования на примере Ханты-Мансийского автономного округа- Югры показывают большие потенциальные возможности этих методов в труднодоступных регионах с интенсивной хозяйственной деятельностью и большой нагрузкой на окружающую среду.

## Литература

1. *Хамедов В.А., Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Шимов С.В.* Использование данных дистанционного зондирования в задачах лесной отрасли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. II. С.380-387.
2. *Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Хамедов В.А.* Геоинформационная технология оценки последствий лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования // Геоинформатика, 2006. № 1. С. 56-61.
3. *Брыксина Н.А., Копылов В.Н., Кочергин Г.А., Хамедов В.А.* Дистанционный экологический контроль мест добычи и транспортировки нефти // Материалы VI международного симпозиума «Контроль и реабилитация окружающей среды», Томск: АграфПресс, 2008. С. 348-349.
4. *Бураков Д.А.* Кривые добегаания и расчет гидрографа весеннего половодья // Томск: Томский госуниверситет, 1978. 129 с.
5. *Копылов В.Н.* Международный проект мониторинга паводковой обстановки в северных территориях с использованием данных ДЗЗ // Материалы Международной конференции «Информационные технологии и обратные задачи рационального природопользования». Ханты-Мансийск: ГП «Полиграфист», 2005. С.181-184.
6. *Анисимов О., Лавров С.* Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // Технологии ТЭК, 2004. №3. С. 78 –83.
7. *Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А.* Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник ТГУ, 2008. № 311. С. 185-189.

# **Application of remote sensing data at the decision of regional tasks of rational usage by natural resources**

**V.N. Kopylov, G.A. Kochergin, Y.M. Polishchuk, V.A. Hamedov**

*Ugra research institute of information technologies*

The application of remote sensing methods at the decision of regional tasks of rational usage by natural resources is described. The ecological tasks of Khanty-Mansiysk autonomous okrug- Ugra are considered. In this region 60 % of the Russian petroleum is extracted. The region is characterized by essential anthropogenous influence on an environment and inaccessibility of territory. The methodical questions of usage of space images for forest monitoring in conditions of influence of the anthropogenous and natural factors are considered. The automated technology of remote monitoring of petroleum production and transportation places is submitted. The purpose of technology is detection and mapping of petroleum pollutions. The information technology of the forecast of daily and maximum water levels during a spring high water in Middle Ob is described. The technology uses the ground and satellite information. The approach to study of cryogenic processes in north Siberia based on the analysis of space images is considered. This task is urgent because of influence of global warming on permafrost in areas of petroleum and gas deposits.

**Keywords:** Remote sensing, space image, space monitoring, monitoring of a forest, classification, petroleum pollutions, spring high water, hydrological forecast, cryogenic processes.