

# ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**В.Н. Копылов**

*Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий,  
628011 г. Ханты-Мансийск, ул. Мира 151  
E-mail: kvn@urii.ru*

Приведены методологические и технические аспекты разработки и реализации аппаратно-программного комплекса центра ДЗЗ на базе современных технологий для решения задач космического мониторинга окружающей среды севера Сибири. Центр ориентирован на прием, обработку и использование данных ДЗЗ детального пространственного разрешения (1-10 м). Основу Центра составляет высокоинформативный комплекс приёма и обработки информации производства Российского НИИ космического приборостроения. Для обработки информации в ЮНИИ ИТ имеется уникальное оборудование для хранения и обработки больших и сверхбольших объемов данных. Его ядром являются два мощных суперкомпьютера производства Sun Microsystems. Представлены примеры применения данных ДЗЗ при решении задач мониторинга окружающей среды севера Западной Сибири и прилегающих районов. Рассмотрены перспективы развития Центра.

## **Введение**

Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО) является одним из самых динамично развивающихся регионов России. В настоящее время здесь сосредоточена основная часть нефтедобывающего потенциала страны (около 60 %), округ находится на первом месте в стране по производству электроэнергии и на втором по добыче газа. Отрицательным последствием этого является неблагоприятная экологическая обстановка в округе. Решением Правительства ХМАО в 2001 году в Ханты-Мансийске учрежден Югорский НИИ информационных технологий (ЮНИИ ИТ), в составе которого создан Центр дистанционного зондирования Земли из космоса с целью оперативного космического мониторинга состояния окружающей среды ХМАО и прилегающих регионов Сибири. Учредителями была поставлена задача- создание в кратчайшие сроки центра космического мониторинга окружающей среды на базе современных информационных технологий с возможностью приема, обработки и интерпретации данных ДЗЗ вплоть до детального пространственного разрешения (1-10 м).

## **Основные задачи центра космического мониторинга**

Центр должен решать следующие основные задачи мониторинга окружающей среды:

- Мониторинг природных ресурсов- исследование закономерностей размещения полезных ископаемых, прогнозирование и поиск природных ресурсов, оценка режимов использования природных ресурсов. Существуют проблемы поиска небольших месторождений нефти и газа, повышения отдачи уже эксплуатируемых скважин. В результате непродуманных схем обустройства месторождений, строительства без учета экологических требований технологических дорог, трасс коммуникаций (ЛЭП, нефте- и газопроводов, линий связи) ежегодно изымается из государственного лесного фонда до 18 тыс.га высокопродуктивных лесов.
- Экологический мониторинг- исследование динамики изменений экосистем различного масштаба и различных естественных и антропогенных факторов, влияющих на экосистемы. По экспертным оценкам за период функционирования в округе нефтедобывающего комплекса (50 лет) потери нефти оцениваются в среднем в 100 млн. тонн, а площадь загрязненных земель составляет около 800 000 га. [1].
- Прогнозирование и контроль природных катастроф и техногенных аварий, анализ факторов, предшествующих и сопровождающих катастрофы и аварии, с целью совершенствования методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Очень серьезный экологический вред наносится в результате аварийных разливов нефти- их ежегодно в округе официально регистрируется до 2000. По территории округа проходит около 77 тыс. км трубопроводов, аварийность на которых в 2003 г. увеличилась на 20% по отношению к 2002 г. и составила 2235 случая [1]. Большой экологический и экономический урон наносят лесные пожары, паводки.
- Фундаментальные исследования Земли в интересах метеорологии, климатологии и др. Северные территории Западной Сибири относятся к одному из трех очагов значительного потепления в мире в последние десятилетия. Оттаивание вечной мерзлоты, увеличение образующимися болотами эмиссии метана оказывают воздействие на состояние атмосферы всей Земли.

Создание центра ДЗЗ было начато в 2002 г. как центра нового поколения, способного принимать и обрабатывать данные с новейших систем космической съемки Земли. Для определения структуры технических средств

был проведен анализ существующих и планируемых к запуску в мире систем космической съемки Земли в интересах мониторинга окружающей природной среды. Ниже приведена таблица 1 с информацией о системах съемки, требующих высокопроизводительной аппаратуры приема и обработки. Обозначения:  $I$  - разрядность отображения интенсивности,  $R$  - пространственное разрешение (м),  $S$  - максимальная скорость сброса данных (Мбит/сек).

Из таблицы видно, что для приема информации с современных систем космической съемки требуются приемные станции с возможностью приема максимальных потоков данных до 320 Мбит/сек. Передача информации с данных систем осуществляется в X-диапазоне с частотой 8-8,5 ГГц. Передача информации низкого пространственного разрешения осуществляется, как правило, в L-диапазоне с частотой около 1,7 ГГц.

Таблица 1. Характеристики некоторых современных систем космической съемки Земли

Наименование ИСЗ	Страна-Изготовитель	Год запуска	Съемочное оборудование	$I$	$R$	$S$
IKONOS-2	США	1999	OSA	11	1; 4	320
QUICKBIRD-2	США	2001	ВHRC-60	11	0,6; 2,5	320
EROS-B	Израиль	План 2005	HRS	8	0,8; 2,8	280
TES	Индия	2001	Оптоэл. камера	12	2,5	70
ORBVVIEW-3	США	2003	Оптоэл. камера	8	1	150
ROCSAT-2	Тайвань	2004	RSI	11	2; 8	320
ALOS	Япония	План 2005	PRISM	11	2,5	240
Ресурс-ДК	Россия	План 2005	Оптоэл. камера	11	1; 2	320
PLEIADES HR-1	Франция	План 2006	Оптоэл. камера	11	0,7-1	4x150
RADARSAT-2	Канада	План 2005	PCA		3-100	100
Кондор-Э	Россия	План 2006	PCA		1-3	245
TerraSar-X	Германия Великобритания	План 2006	PCA		1-15	300
LANDSAT-7	США	1999	ETM+	8	15; 30	150
SPOT-5	Франция	2002	HRG	8	5;10;20	50
IRS-1D	Индия	1997	PAN	6	5,8	85
Монитор-Э	Россия	План 2005	Оптоэл. камера	8	8; 20; 40	123

### Реализация программно-технологического комплекса центра

Программно-технологический комплекс центра ДЗЗ ЮНИИ ИТ был построен с учетом приведенных характеристик и функциональных требований к комплексам такого рода [2]. Центр обладает тремя приемными станциями. В соответствии с функциональными требованиями к системе приема и регистрации в Центре реализована структура приемного комплекса с дублированием приемных станций по диапазонам частот приема (рис. 1). Дублирование приема в X-диапазоне с ЛВС ью потока до 320 Мбит/сек не предусмотрено в связи с большой стоимостью его организации.

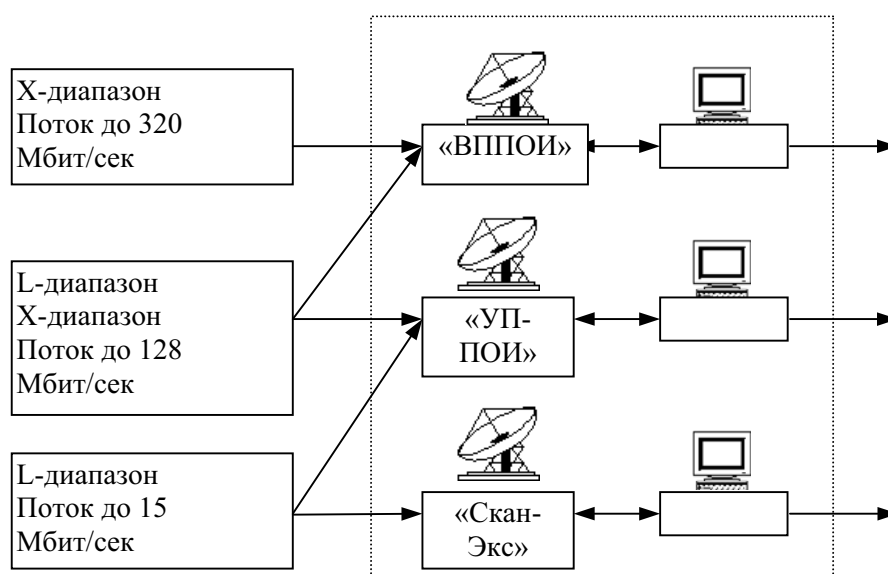


Рис. 1. Схема системы приема и регистрации центра ДЗЗ ЮНИИ ИТ.

В Центре установлено следующее оборудование для приема и регистрации:

1. Приемная станция «СканЭкс» производства ООО НПЦ "СканЭкс", г. Москва. Диаметр антенны 0,9 метра. Станция предназначена для приема информации с метеорологических КА в L-диапазоне частот. Используется для приема и записи информации, передаваемой с полярно-орбитальных КА серии «NOAA».
2. Приемная станция УППОИ (универсальный пункт приема и обработки информации) производства НПП "ОПТЭКС", г. Москва. Диаметр антенны - 3,7 метра. Станция предназначена для приема информации со скоростью до 128 Мбит/с в L-диапазоне и в X-диапазоне. В настоящее время на станции производится прием и запись информации, передаваемой с КА серии «NOAA», с КА EOS AM-1(Terra) (США) и с КА «Метеор-3М».
3. Высокоинформативный пункт приёма и обработки информации (ВППОИ) на базе приемной антенны диаметром 9 метров производства Российского НИИ космического приборостроения, г. Москва (рис.2). Комплекс обеспечивает приём, запись, каталогизацию и архивацию информации, поступающей в X-диапазоне частот со скоростью до 320 Мбит/сек. В настоящее время это первый действующий в России комплекс, позволяющий принимать поток информации до 320 Мбит/сек [3]. Комплекс потенциально может принимать информацию со всех перечисленных в Таблице 1 отечественных и зарубежных КА с аппаратурой для детального обзора. Объем информации, получаемой за один сеанс связи с КА, может достигать до 40 Гбайт.



Рис. 2. Высокоинформативный пункт приёма и обработки информации.

Кроме решения такой сложной технической задачи, как прием и регистрация больших объемов данных, необходимо было разработать и реализовать технологии их разноуровневой обработки и хранения. Для обработки данных в ЮНИИ ИТ создано компьютерное ядро, состоящее из двух мощных суперкомпьютеров производства Sun Microsystems. Суммарная пиковая мощность компьютеров составляет около 120 гигафлоп. Имеется возможность сравнительно легкого наращивания производительности до нескольких сотен гигафлоп за счет добавления дополнительных процессорных модулей. В качестве платформы для

решения наиболее сложных в вычислительном отношении задач использован суперкомпьютер компании Sun Microsystems – Sun Fire 15000. Этот мультипроцессорный компьютер выполнен в архитектуре SMP, которая в наибольшей степени соответствует потребностям многомерных вычислительных задач с сильно связанными данными. К задачам такого типа относятся и задачи обработки данных ДЗЗ, геоинформатики.

Суперкомпьютерный центр обладает также уникальным оборудованием для хранения и обработки больших и сверхбольших объемов данных. Сеть хранения информации включает трехуровневую систему накопителей (дисковые массивы, ленточная библиотека, оптическая библиотека CD / DVD ) и позволяет надежно хранить десятки терабайт данных. Подключение накопителей к суперкомпьютерам выполнено с помощью коммутаторов технологии Fibre Channel по топологии с избыточными связями, повышающими производительность и делающими сеть хранения устойчивой к отказам. Использование прогрессивной технологии обеспечивает высокую степень гибкости использования устройств хранения информации – любой процессор компьютера и любой узел кластера может получать независимый и высокоскоростной доступ к любому диску. Это позволяет применять разнообразные схемы разделенного и выделенного доступа к дисковому пространству, а также к данным на лентах и оптических дисках. При этом выбор схемы диктуется программным обеспечением в зависимости от набора задач.

Для решения геоинформационных задач используется ArcSDE или Spatial Database Engine – служебное программное обеспечение для связи ГИС-приложений с системами управления реляционными базами данных (РСУБД). Это программное обеспечение построено на клиент-серверной технологии и предназначено для хранения, управления и быстрого получения пространственных данных из РСУБД, таких, как Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 и Informix. ArcSDE играет главную роль как в организации корпоративных многопользовательских ГИС, так и в развертывании распределенных ГИС. Механизм доступа основан на использовании Oracle9i Application Server (Oracle9iAS) – продукта универсального класса, позволяющего решать широкий спектр задач по поддержке приложений в Интернет и Интранет-системах.

Программное обеспечение для обработки данных, имеющееся в Центре ДЗЗ, позволяет производить предварительную и тематическую обработку, разработку собственных прикладных модулей, а также обеспечение работы пользователей в интерактивном режиме. Для автоматизации обработки, каталогизации и хранения данных ДЗЗ на суперкомпьютере Sun Fire 15000 установлены пакеты прикладного программного обеспечения ERDAS IMAGINE Pro 8.5 for SUN и ENVI (UNIX). ENVI позволяет осуществлять обработку в мультипроцессорном режиме, что значительно сокращает время работы.

Для тематической обработки данных ДЗЗ, создания тематических ГИС в ЮНИИ ИТ используются также прикладные пакеты фирмы ESRI. Основой является полная линейка продуктов ArcGIS фирмы ESRI, которая включает программы ArcMap, ArcCatalog, ArcTools, ArcEditor, дополнительные модули 3D Analyst, Spatial Analyst, Geostatistical Analyst, полнофункциональную ГИС ArcInfoWorkStation для платформ Windows и Solaris, программы для клиент-серверных и Интернет-решений ArcSDE и ArcIMS.

## **Технологии оперативного космического мониторинга, применяемые в центре ДЗЗ**

Одновременно с созданием технической базы на основе информации, принимаемой в Центре, был разработан ряд технологий оперативного космического мониторинга объектов и процессов окружающей природной среды. Технологии разрабатывались как в рамках научно-исследовательских работ ЮНИИ ИТ, так и в рамках договорных работ по заказу заинтересованных предприятий и учреждений. Ниже приводится описание некоторых из них.

### *1. Геоинформационная технология для оценки последствий лесных пожаров*

Ущерб, наносимые лесными пожарами в Северной Сибири, огромны. Только в одном Ханты-Мансийском автономном округе в 2003 году пожарами было охвачено около 23 тыс. га лесных массивов, общий ущерб от которых оценивается величиной более 3 млрд. рублей. Снижение ущерба в таких случаях может быть достигнуто за счет раннего обнаружения лесных пожаров на стадиях возгорания и последующего компьютерного выбора наиболее ущербных очагов возгораний на основе прогнозирования развития очагов пожара и с использованием материалов классификации лесных выделов по породному составу. Положенная в основу данной технологии методика оценки последствий пожаров основана на оперативном картировании выгоревших и прогнозируемых участков и реализуется путем «наложения» контуров очагов возгорания на карту пространственного распределения видового состава леса с использованием средств ГИС [4]. Информационная система для реализации методологии включает следующие основные компоненты: оперативные космические данные, программные средства раннего обнаружения лесных пожаров по космическим данным, ГИС (Erdas Imagine, ArcGis), базы данных лесной таксации и других показателей, цифровые карты классификации лесных выделов по видовому составу леса, прикладные программы математического моделирования и прогнозирования зон выгорания в лесном массиве (рис.3). Начаты работы по использованию

в технологии радарных данных, позволяющих независимо от условий облачности выявлять изменения растительного покрова, анализ которых позволит определять зоны выгоревших лесов.

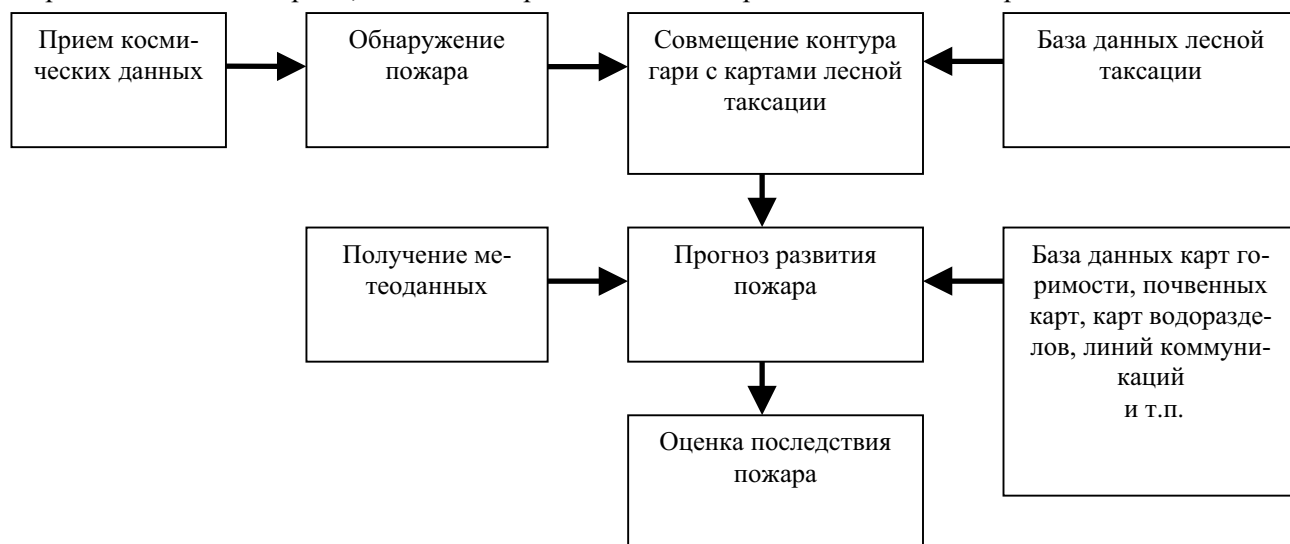


Рис. 3. Схема информационно-программного комплекса оценки последствия лесного пожара.

## 2. Оперативный мониторинг состояния нефтепроводов с использованием космических снимков

В рамках технологии на базе космических снимков решаются следующие задачи:

- дешифрирование и картирование трубопроводов, буровых вышек и промышленных кустов, дорог, просек, линий электропередач, разведочных просек;
- картирование аварийных разливов нефти и буровых растворов на поверхности воды, почвы, в лесных массивах;
- выявление и картирование участков заболачивания и подтопления грунтовыми и поверхностными водами производственных объектов;
- обнаружение участков техногенного возникновения и развития овражной и поверхностной эрозии почв в зоне нефтепроводов;
- выявление представляющих потенциальную опасность нарушений природных ландшафтов вблизи охранной зоны и в технических коридорах трубопроводов;
- картирование плановых и высотных смещений трубопроводов и площадных объектов в результате морозного пучения грунтов;
- обнаружение участков несанкционированных земляных работ вблизи трасс внутрипромысловых и магистральных трубопроводов.

В течение 2004г. проводился экспериментальный мониторинг магистрального нефтепровода длиной 500 км «Средний Хулым-Нягань», результаты передавались 2 раза в сутки в диспетчерскую нефтепровода. Верификация результатов космического мониторинга проводилась с помощью периодических вертолетных облетов.

На рис. 4 представлен пример дешифрированного космического снимка с КА «Метеор-3М».

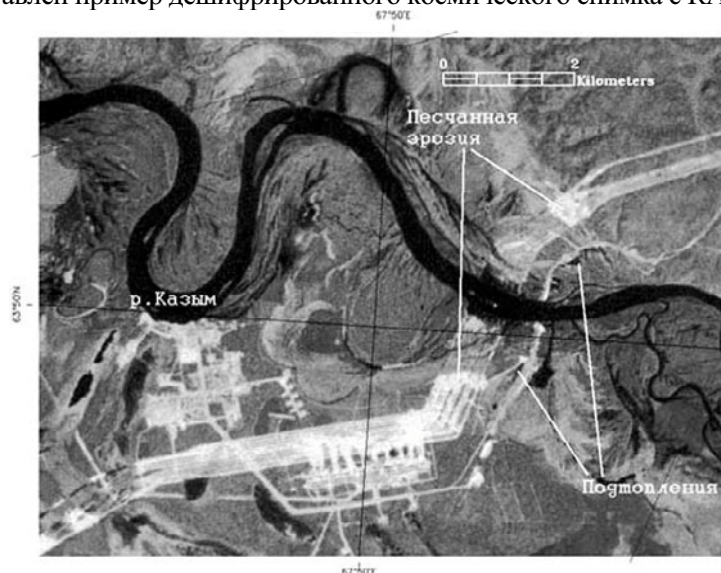
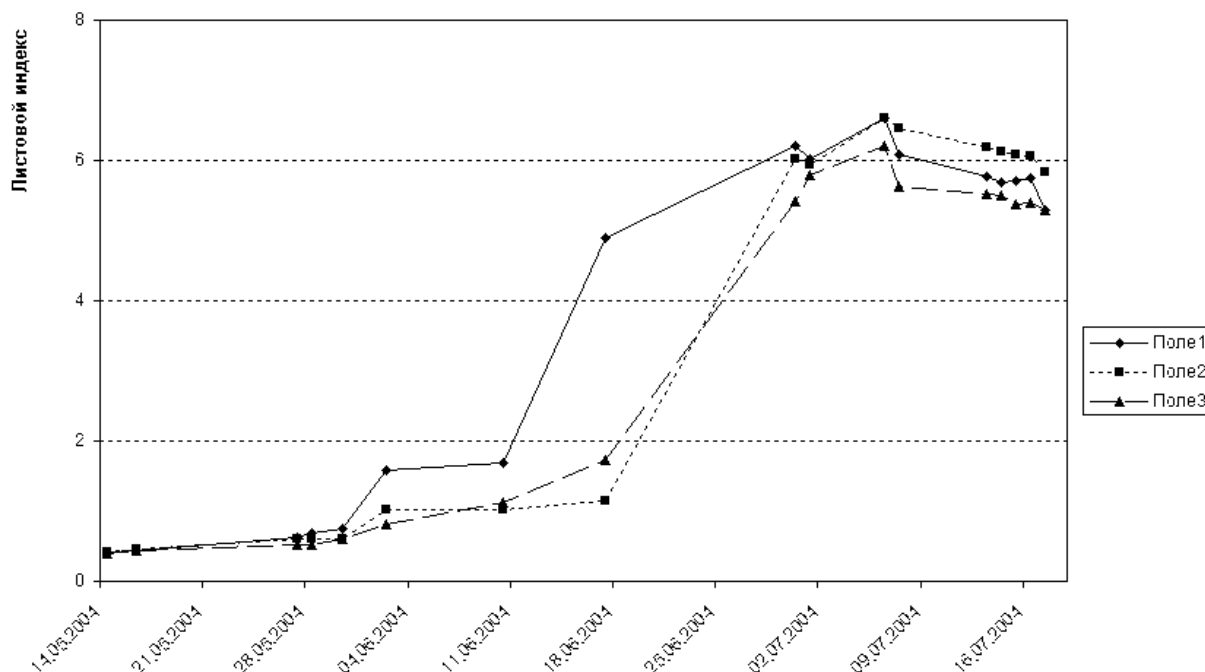


Рис. 4. Снимок аварийно опасного участка нефтепровода.

В технологии используются спутниковые данные оптического диапазона и наземные наблюдения на тестовых полях. Согласно методике проводятся ежедневные расчеты биопродуктивности яровой пшеницы по математической модели EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator) (Sharpley and Williams, 1990) с корректировкой расчетных значений листового индекса на основе спутниковой оценки вегетационного индекса [5]. Коррекция листового индекса на тестовых полях проводится с использованием изображений со спутника МЕТЕОР-3М и со сканера MODIS спутника EOS AM-1 (Terra) с периодичностью 2 раза в неделю (рис.5). В модели используются данные о влагозапасе в почве перед началом сева, а также ежедневные метеопараметры – средняя скорость ветра, минимальная и максимальная температура воздуха, осадки, средняя влажность воздуха, солнечная радиация во всех агроклиматических зонах на ближайших к тестовым хозяйствам метеостанциях, сроки сева на тестовых полях по сводкам из хозяйств, данные о химическом составе почв по региону.

#### АПХ "Ишимское" и ООО "Мизоновское", Ишимский район



**Динамика изменения листового индекса яровой пшеницы (отношение площади листьев растений к площади земли, занимаемой растением) по эталонным полям в период наблюдений с 14.05 по 18.07.2004г.**

Рис. 5. Динамика изменения листового индекса на эталонных полях, полученная по данным ДЗЗ.

### 3. Космический мониторинг состояния сельскохозяйственных посевов, прогноз урожайности и валовых сборов зерновых культур

Опыт применения данной методики в 2004 году на территории Тюменской области показал ее эффективность: точность прогноза урожайности зерновых культур – около 60 кг с гектара в среднем по области. Результатом работ являлось подекадное предоставление информации о состоянии сельскохозяйственных культур в виде тематических картосхем и прогноза урожайности по районам области и по области в целом.

В настоящее время для обеспечения нужной периодичности наблюдений ведутся работы по созданию всепогодной технологии с использованием радарных данных.

### 4. Геоинформационная технология оценки уровня загрязнений природных комплексов продуктами сгорания от газовых факелов

Загрязнение атмосферы в результате сжигания попутного газа является одним из наиболее существенных для таёжной зоны Западной Сибири факторов воздействия нефтедобычи на природную среду. Суть предложенного и реализованного комплексного подхода к анализу воздействия нефтедобычи на природную среду сводится к наложению на ландшафтную карту совокупности зон загрязнения окружающей среды, обусловленных выбросами из различных источников, и определению площадей ландшафтных выделов, оказавшихся в пределах каждой из этих зон загрязнения [6]. Следовательно, площадь части территории выдела, находящейся в пределах зоны загрязнения, является количественной мерой степени воздействия негативного фактора нефтедобычи на лесоболотные территории. При практической реализации этого подхода возникают две сложные задачи:

- определение зон загрязнения атмосферы в результате деятельности нефтедобывающих предприятий;
- построение ландшафтных карт территории нефтедобывающего региона.

В данной технологии при решении первой задачи используется математическое моделирование зон загрязнения атмосферного воздуха. В настоящее время имеется целый ряд разработанных математических моделей рассеяния загрязняющих примесей в атмосфере. Решение второй задачи осложняется практическим отсутствием ландшафтных карт лесоболотных территорий (масштаба 1:100000 и более крупных). Построение таких карт – дорогостоящая и долговременная процедура. Единственной альтернативой в решении этой задачи является использование космических снимков с целью построения карт ландшафтной структуры территории. Для наложения на них зон загрязнения атмосферы применяются современные ГИС – средства (рис.6).

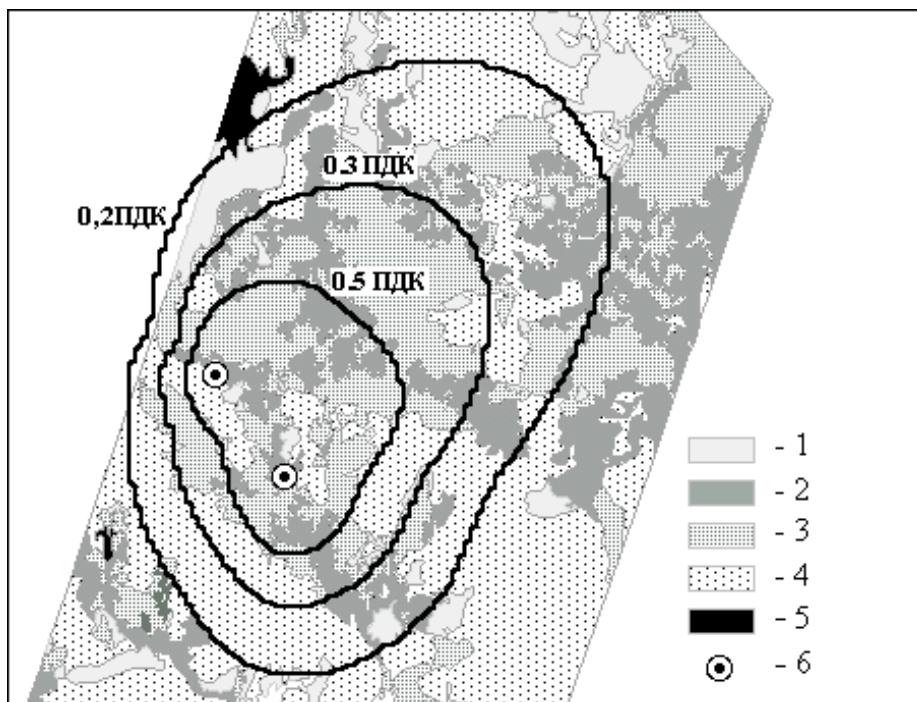


Рис. 6. Фрагмент векторизованного космического снимка участка территории нефтедобычи с наложенными зонами загрязнения:  
 1 – сосновые леса, 2 – темнохвойные леса, 3 – березовые леса,  
 4 – болото, 5 – вырубки, 6 – факелы.

### Заключение

В современных условиях постоянного совершенствования аппаратуры зондирования и информационных технологий процесс создания центра космического мониторинга окружающей среды является непрерывным. В ближайшее время в Центре ДЗЗ по согласованию с операторами КА планируется организовать прием и обработку информации с планируемого к запуску КА «Монитор-Э». По договоренности с Российским космическим агентством Центр, в качестве резервного, готовится принимать информацию с планируемого к запуску в текущем году КА «Ресурс-ДК» с бортовой аппаратурой детального наблюдения. По договору с Европейским космическим агентством ведутся работы и по организации приема информации с КА с радиолокационным бортовым оборудованием. Силами сотрудников Центра и других лабораторий ЮНИИ ИТ разрабатываются новые методики и технологий мониторинга окружающей природной среды с использованием космической информации.

### Литература

1. Информационный бюллетень «О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2003 году». Ханты-Мансийск: ГП «Полиграфист», 2004. 160 с.
2. Копылов В.Н. Программно-технологический комплекс регионального центра космического мониторинга окружающей среды. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2001. 71 с.

3. *Вальд В.П., Новиков М.В., Шишкин Г.В. и др.* Высокоинформативные наземные комплексы и малые станции приема космической информации ДДЗ // Труды Международной конференции "Современные проблемы информационных технологий и космический мониторинг" (Ханты-Мансийск, 14-16 июня 2001г.). Новосибирск: СО РАН, 2002. с. 30 – 35.
4. *Хамедов В.А.* Информационные технологий для оценки последствий лесных пожаров. //Сб. Информационные технологии и космический мониторинг. Екатеринбург: «Баско», 2004г. с.50-53.
5. *Евтюшкин А.В., Рычкова Н.В.* Изучение динамики вегетационного индекса сельскохозяйственной зоны Западной Сибири по данным NOAA и подспутниковых полигонных измерений. //Сб. Информационные технологии и космический мониторинг. Екатеринбург: «Баско», 2004г. с.54-61.
6. *Ерохин Г.Н., Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Токарева О.С.* Информационно-космические технологии в задачах экологического анализа воздействий нефтедобычи на природную среду. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2003. 106 с.