

# **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ТЕХНОСФЕРЫ**

**В.К. Шухостанов, Л.А. Ведешин, А.Г. Цыбанов**

*Отделение «Диагностика и безопасность техносферы» РАН, Москва*

Население промышленно развитых стран вынуждено жить в окружении многочисленных технических сооружений, т.н. объектов техносферы, которые необходимы для прогресса и облегчения жизни людей. В то же время они представляют опасность для человечества, если не осуществлять их регулярный мониторинг и диагностику. Особое место среди объектов техносферы занимает трубопроводный транспорт углеводородного сырья. В его состав входят установки подготовки газа, нефти к дальнейшей транспортировке, промысловые, магистральные и распределительные трубопроводы, компрессорные и насосные станции, резервуарные парки, подземные хранилища и морские терминалы. Общая протяженность магистральных, промысловых и распределительных трубопроводов в России составляет более одного миллиона километров, и они занимают второе место после железных дорог.

При этом около 35% газопроводов эксплуатируются более 20 лет и 15% - более 30 лет. 75% нефтепроводов работают более 20 лет и 25% - более 30 лет. Более 34% продуктопроводов построено более 30 лет назад. Продлить срок безопасной службы трубопроводных систем – важнейшая задача государства.

Комплексная диагностика трубопроводного транспорта составляет основу их мониторинга, включая дистанционные аэрокосмические и наземные методы.

Дистанционная аэрокосмическая диагностика применяется в трубопроводном транспорте для решения задач оперативного мониторинга состояния данных объектов во взаимосвязи с окружающей средой (состояние грунтов, растительного покрова, пересечения с линиями электропередач, дорогами и другими объектами техносферы) с учетом рельефа местности. Кроме того, продуктопроводы подвержены воздействию как природных факторов, таких как изменения температуры почвы и грунтовых вод, подтопления и сейсмические воздействия; так и механических, таких как изменения давления и температуры внутри трубы. Эти факторы вызывают преждевременную коррозию и разрушение продуктопроводов.

В основу статьи положены результаты работ по космической диагностике объектов техносферы, выполненных специалистами Отделения «Диагностика и безопасность техносферы» Российской Академии Естественных Наук в 2001-2004 гг.

На территории России, Испании и стран Ближнего Востока авторами осуществлен ряд проектов по оценке состояния трубопроводных систем, резервуарных парков, нефтехимических комплексов методами наземной и космической диагностики.

Работа проведена на базе наземных измерений и космических снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, полученных системами: Landsat, Ikonos, QuickBird, Ресурс, Комета, МКС.

На основании выполненных работ проведен анализ возможностей вышеперечисленных космических снимков для решения задач космической диагностики техносферы, а также сделана оценка перспектив использования данных дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

## **1. Анализ технических характеристик применяемых космических систем для космической диагностики объектов техносферы**

К категории данных дистанционного зондирования сверхвысокого пространственного разрешения относятся данные, получаемые с космических аппаратов Ikonos-2, QuickBird-2 и Ресурс-Ф1М.

В данных системах используется следующая оптико-электронная аппаратура:

- Сенсор OSA (Optical Sensor Assembly) на Ikonos-2, обеспечивающий разрешение до 0,82 м в панхроматическом канале;
- Сенсор BHRC-60 (Ball High Resolution Camera) на QuickBird-2, обеспечивающий разрешение до 0,61 м в панхроматическом канале.
- Сенсор KFA-1000 на Ресурс-Ф1М, обеспечивающий разрешение до 3,5 м на черно-белой пленке.

Сенсор ETM+ (Enhanced Thematic Mapper), установленный на космическом аппарате Landsat-7 представляет собой многоспектральный оптико-механический сканирующий радиометр. Данный сенсор обеспечивает разрешение до 15 м в панхроматическом канале и является источником данных дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения.

Необходимые для оценки технических возможностей характеристики космических систем и сенсоров, установленных на их борту приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что существенного различия спектральных характеристик сенсоров Ikonos-2 и QuickBird-2 не наблюдается. Отличие пространственного разрешения (реально, в среднем 1 м у Ikonos-2 и 0,61 м у QuickBird-2) может оказаться принципиальным. Объекты техносфера, которые исследовались на основе космоснимков, полученных с Ikonos-2 и QuickBird-2, представляли собой, в основном, трубопроводы различного назначения диаметром от 168 до 629 мм. Конечно же, надземный или наземный, отдельно лежащий трубопровод такого диаметра с помощью подобных сенсоров по прямым признакам обнаружить невозможно. Однако совокупность близко расположенных таких трубопроводов образует уже коридор, ширина которого может измеряться метрами. Поэтому при выявлении этого коридора небольшое различие в пространственном разрешении сенсоров Ikonos-2 и QuickBird-2 иногда имеет большое значение.

В космической диагностике техносферы пространственное разрешение играет большую, но не самую важную роль. Сравним спектральные характеристики различных каналов сенсоров сверхвысокого и высокого пространственного разрешения (Рисунки 1 и 2) на примере сенсоров ETM+ (Landsat-7) и OSA (Ikonos-2). Графики представляют собой зависимость *Относительной спектральной чувствительности* (*Relative Spectral Response*) от *Длины волны в нм* (*Wavelength*).

Из рисунков 1 и 2 видно, что в каналах 1 – 4 сенсор ETM+ имеет достаточно высокую и равномерную спектральную чувствительность; у сенсора OSA кривая неравномерная, особенно в каналах №1 и №4, где имеются явно выраженные максимумы на 495 нм и 780 нм. Т.о. можно отметить, что в спектральных каналах 1 – 4 у сенсора ETM+ охват заявленного диапазона длин волн достаточно высокий, по сравнению с сенсором OSA, особенно в ближнем инфракрасном канале №4. В этом канале спектральная чувствительность у сенсора ETM+ остается на уровне не менее 0,8 практически на всем интервале длин волн данного диапазона. В панхроматическом канале наиболее эффективный диапазон длин волн у сенсора ETM+ находится приблизительно в пределах 700 – 890 нм, а у сенсора OSA – 550 – 880 нм. На сенсоре ETM+, в отличие от всех вышеперечисленных сенсоров, имеются дополнительные инфракрасные каналы, функции *Относительной спектральной чувствительности* которых показаны на рис. 3.

Наличие этих инфракрасных каналов повышает эффективность применения данных дистанционного зондирования в космической диагностике техносферы. Существенным недостатком всех каналов сенсора ETM+ является все же недостаточное пространственное разрешение (30 и 60 м) для успешного и полноценного их применения в исследовании техносферы.

На рисунке 4 сведена информация об охвате спектрального диапазона всеми цветными каналами исследуемых космических систем и наглядно показано их взаимное расположение.

## 2. Космическая диагностика техносферы на базе снимков, полученных с космических систем Ikonos-2, QuickBird-2, Ресурс-Ф1М и Landsat-7

### 2.1. Выявление объектов техносферы, их характерных узлов и элементов

При проведении анализа информации по космическим снимкам высокого разрешения, полученных с систем Ikonos-2 и QuickBird-2 использовались все 4 спектральных канала, но наиболее информативным для выявления трассы оказался красный канал №3 и ближний инфракрасный канал №4. На рисунке 5 показан фрагмент территории прохождения 4 трубопроводов около г. Мотрил, полученный со снимка Ikonos-2. В красном канале №3 отчетливо виден след подземного участка трассы трубопроводов.

На рисунке 6 изображены фрагменты космических снимков территорий в портах Хихон и Ла Коруна и около г. Мотрил в ближнем инфракрасном канале №4, полученных с систем Ikonos-2 и QuickBird-2. В этом канале по прямым признакам явно выявляются открытые участки трубопроводов, участки входа или выхода трубопроводов из грунта, колодцы, камеры, насосные станции и другие элементы, находящиеся в непосредственной близости от исследуемого объекта техносферы.

В космической диагностике 9-ти ниточных магистральных газопроводов на участке подводного перехода через реку Сылва использовались данные дистанционного зондирования сенсора KFA-1000, полученные с космической системы Ресурс-Ф1М. На спектрозональной пленке в диапазоне 0,57-0,81 мкм обнаруживаются места входа газопроводов в воду, блоки крановых узлов и прохождение трассы газопроводов на участках между берегами реки Сылва и крановыми узлами (Рис. 7).

При выявлении трассы магистрального нефтепровода на о. Сахалин по 4-канальному космическому снимку с системы Landsat-7 наилучшие результаты показал коротковолновый инфракрасный канал №5 со спектральным диапазоном 1,55 – 1,75 мкм и пространственным разрешением 30 м (Рис. 8). Далее по значимости идут каналы: красный №3 (0,63 – 0,69 мкм, 30 м) и зеленый №2 (0,52 – 0,60 мкм, 30 м). Хуже всех себя показал, с точки зрения выявления трассы, панхроматический канал со спектральным диапазоном 0,52 – 0,90 мкм и пространственным разрешением 15 м. Как видно из рисунка мультиспектральная комбинация каналов: средний-инфракрасный №7 (2,09 – 2,35 мкм, 30 м), ближний инфракрасный №4 (0,75 – 0,90 мкм, 30 м) и видимый зеленый №2 (0,52 – 0,60 мкм, 30 м) показала неплохие результаты.

Для магистрального нефтепровода проведена работа по установлению объектов, влияющих на работу нефтепровода и потенциально опасных объектов, которые расположены в техническом коридоре нефтепровода, шириной около 4 км. Были выявлены другие нефтепроводы, ЛЭП, газопроводы, дороги, реки, просеки, а также места их пересечения либо близкого расположения с нефтепроводом (Рис. 9).

Все исследования по выявлению объектов техносферы проводились, в основном, в среде ERDAS IMAGINE. Были проведены следующие виды обработки: полиноминальная интерполяция по всей поверхности снимка, выравнивание уровней цвета, балансировка цветов с выделением и насыщением определенных составляющих цвета, изменение контурной резкости с уменьшением яркости по всем цветовым каналам, использование различных графических фильтров.

В таблице 2 приведена обобщающая информация о выявлении трасс трубопроводов на исследованных территориях с использованием ДДЗ высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

## 2.2. Оценка влажности грунтов, на которой расположен диагностируемый объект техносферы

В качестве примера оценки влажности грунтов рассмотрим работу, которая была проведена на территории, расположенной около г. Мотрил, где были использованы ДДЗ сверхвысокого разрешения, полученные с системы QuickBird-2. Оценка влажности грунтов проводилась на территории неасфальтированных земель.

При проведении сравнительного анализа информативности спектральных каналов космического снимка выяснилось, что лучше всего сырье участки почвы и границы между обводненной и необводненной территорией отображаются в зеленом канале (0,52-0,61 мкм), который и был взят в качестве основного для проведения оценки влажности.

В процессе обработки в среде ERDAS IMAGINE изображение было классифицировано с целью выделения участков территории покрытых растительным покровом, сухих и влажных участков свободной от растительности поверхности.

Была получена тематическая картина, отражающая разделение космоснимка на следующие типы поверхности:

- открытая водная поверхность
- густой растительный покров
- сухая песчаная поверхность
- влажная песчаная поверхность
- сухая почва
- влажная почва

Затем, в целях оптимизации результатов анализа и более четкого разделения искомых классов, маскирующее изображение было обработано скользящим окном размером 5x5 пикселей медианным фильтром. В результате была построена карта обводненности территории (Рис. 10).

Так же по космическому изображению были выявлены линейные участки открытых и подземных водотоков (мелких рек, дренажных канав и т.п.). Наличие открытых и подземных водотоков обычно является основной причиной обводненности территорий.

В результате были выявлены области, представляющие опасность из-за повышенной влажности, а так же области с подозрением на обводненность, покрытые густой растительностью, которая является индикатором наличия воды.

По результатам оценки влажности грунтов, на трассе были выделены места пересечения с обводненными участками территории, отмеченные цифрами на рисунке 10.

На территории Ближнего Востока проведена оценка динамики подтопления территории расположения нефтеперерабатывающего завода.

Работа была проведена на основе классификатора ERDAS IMAGINE, с использованием панхроматического изображения Ikonos-2.

На рис. 11 показано состояние увлажненности почв территории НПЗ в 1990 и в 2000 г.г. Темные участки обозначают сильное увлажнение и подтопление грунтов.

### *2.3. Выявление потенциально опасных участков диагностируемого объекта*

При проведении космической диагностики объектов техносферы могут быть выявлены области, которые могут оказать негативное влияние на работу исследуемых объектов. Такими областями могут являться обводненные участками территории. В этих местах возможна высокая коррозионная активность грунтов, что может привести к дефектообразованию и дальнейшему развитию дефектов в трубопроводе. Кроме того, это могут быть:

- участки прохождения трассы трубопроводов под автомобильными дорогами,
- участки прохождения трассы трубопроводов под железнодорожными путями,
- участки прохождения трассы трубопроводов под стоянками техники (автомобилей, железнодорожных составов),
- участки изгибов трассы трубопроводов.

В качестве примера на рисунках 12 и 13 показаны потенциально опасные области, требующие повышенного внимания. Исследования проводились на территории портов Ла Коруна и Хихон на основе ДДЗ, полученных с Ikonos-2 и QuickBird-2.

Следует отметить, что при оценке достоверности полученных результатов путем сравнения данных наземной диагностики и космической диагностики был сделан вывод о количестве потенциально опасных областей, содержащих дефекты, выявленные наземной диагностикой:

- Мотрил: 4 из 5,
- Ла Коруна: 13 из 21,
- Хихон: 3 из 3.

### *2.3. Анализ рельефа территории, на которой расположен диагностируемый объект*

Оценка рельефа территории позволяет лучше визуально определить взаимное расположение объектов, оценить их взаимосвязь и проанализировать влияние перепадов высот на объект диагностики.

Для участка магистрального нефтепровода «Блокпост №3 – Погиби», расположенного на о. Сахалин была проведена классификация объектов на основе различия градаций цвета объектов в разных каналах космического снимка Landsat-7 с использованием ERDAS IMAGINE. С помощью гистограммы цвета было определено количество классов для данного снимка и в ручном режиме заданы классы. После классификации сходные классы были объединены; в некоторых классах проведена замена цвета и проведен анализ очистки раstra.

## **3. Некоторые итоги и перспективы развития космической диагностики техносферы**

В настоящее время космическая диагностика техносферы с использованием данных высокого и сверхвысокого пространственного разрешения позволяет успешно решать многие задачи. Приведем некоторые вышеописанные прикладные возможности космической диагностики:

- *Выявление трассы трубопроводов;*
- *Выявление объектов техносферы, их характерных элементов и ближайшего окружения;*
- *Анализ влажности грунтов, на которой расположен диагностируемый объект техносферы;*
- *Оценка динамики подтопления исследуемой территории;*
- *Анализ рельефа территории, на которой расположен диагностируемый объект;*
- *Оценка и диагностика формы, геометрии, размеров объектов техносферы;*
- *Выявление потенциально опасных участков диагностируемого объекта.*

Многие проблемы существенно сдерживают развитие космической диагностики. К таким проблемам следует отнести, прежде всего, ограниченность спектральных диапазонов применяемых сенсоров, что в первую очередь сказывается на ограничении возможностей дешифрирования объектов техносферы. Даже запуск системы сверхвысокого разрешения следующего поколения WorldView, который немного расширит спектральный диапазон до 1,05 мкм, не решит поставленных задач. Низкое спектральное разрешение также ограничивает возможности космической диагностики.

Для перехода на качественно новый уровень развития космических диагностических технологий необходимо проведение исследований по выбору новых видов сенсоров для задач космической диагностики. К таким сенсорам следует отнести радары дециметрового и метрового диапазонов, тепловизоры 8 - 14 мкм, гиперспектральные сенсоры. В связи с этим, разработана программа проведения наземных исследований спектральных характеристик объектов техносферы различного назначения и в различных состояниях с помощью гиперспектрометра.

Основные ключевые позиции программы:

1. Работа должна проводиться в полевых и лабораторных условиях.
2. В случае полевых съемок, следует учитывать изменение солнечного освещения, связанное с облачностью, временем дня, сезонностью. Важна стабильность освещения, нежелательна как безоблачная солнечная погода, так и неравномерный облачный покров.
3. В качестве исследуемых образцов предлагается брать реальные объекты техносфера в виде фрагментов труб, конструкций, сооружений и т.д., а также эталонные материалы из распространенных сплавов с известным химическим составом.
4. Состояние поверхности объектов техносферы должно быть приближено к реальным условиям эксплуатации. Например – новые трубы, трубы с коррозионным налетом, язвами, загрязнениями и т.д.
5. Исследования проводить с разных точек визирования, учитывая индикатрису отражения объектов, т.е. сложность исследуемой поверхности. Для этого необходимы, как минимум, измерения в направлении освещения, противоположным ему, и с двух других, перпендикулярных освещению направлений.
6. Отдельно следует провести спектральный анализ изоляционных покрытий. Состояние изоляции также должно быть разным. Особое внимание следует уделять различным цветам изоляционных покрытий.
7. Исследовать спектры отражения и поглощения различных реально применяемых газо и нефтепродуктов, пропорциональные смеси - нефтепродуктов и воды, газопродуктов и воздуха.
8. В случае исследования эталонных однородных материалов необходимо получить несколько спектров, которые затем нужно усреднить. Это позволит снизить помехи, вызванные несовершенством аппаратуры и внешним воздействием.
9. В случае исследования реальных объектов необходимо провести непрерывную съемку спектров во время движения по прямой линии, длина которой соответствует разрешению космического сенсора. Это позволит смоделировать смешение спектров отражения сенсора.

Таблица 1

## Технические характеристики космических аппаратов

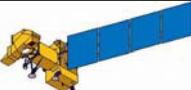
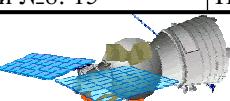
Средняя высота орбиты, км	Наклонение орбиты, град	Тип сенсора	Разрешение	Спектральный диапазон, мкм
				 Ikonos-2
681	98,1	OSA	Панхроматическое: от 0,81 (в надире) до 1 (максимальный угол крена 26 градусов); Мультиспектральное: от 3,2 (в надире) до 4 (максимальный угол крена 26 градусов)	Панхроматический: 0,45-0,9 Синий №1: 0,45-0,52 Зеленый №2: 0,51-0,6 Красный №3: 0,63-0,7 Ближний инфракрасный №4: 0,76-0,85
			 QuickBird-2	
450	97,2	BHRC-60	Панхроматическое: от 0,61 (в надире) до 0,72 (максимальный угол крена 25 градусов); Мультиспектральное: от 2,44 (в надире) до 2,88 (максимальный угол крена 25 градусов)	Панхроматический: 0,45-0,9 Синий №1: 0,45-0,52 Зеленый №2: 0,52-0,6 Красный №3: 0,63-0,69 Ближний инфракрасный №4: 0,76-0,9
			 Ресурс-Ф1М	
240	82,3	KFA-1000	3,5-6 – ч/б пленка 6-10 – спектрозональная пленка	Для ч/б пленки – 0,45-0,7 Для спектрозональной пленки 0,57-0,81
			 Landsat-7	
705	98,2	ETM+	Синий №1: 30 Зеленый №2: 30 Красный №3: 30 Ближний инфракрасный №4: 30 Коротковолновый инфракрасный №5: 30 Длинноволновый (термический) инфракрасный №6: 60 Коротковолновый инфракрасный №7: 30 Панхроматический №8: 15	Синий №1: 0,45-0,52 Зеленый №2: 0,53-0,61 Красный №3: 0,63-0,69 Ближний инфракрасный №4: 0,75-0,9 Коротковолновый инфракрасный №5: 1,55-1,75 Длинноволновый (термический) инфракрасный №6: 10,4-12,5 Коротковолновый инфракрасный №7: 2,1-2,35 Панхроматический №8: 0,52 – 0,9
			 Комета	
260	65 и 71	KBP-1000	2 – 3 м	0,58 – 0,72
			 МКС	
260	360-383	Kodak DCS760	~ 5 м	-

Таблица 2

Выявление трассы трубопроводов на некоторых исследованных территориях

Территория	Космический аппарат, Сенсор	Используемые каналы	Используемые признаки выявления, комментарии	Максимальное расхождение данных космической диагностики и наземных GPS измерений, м
Мотрил (Испания)	Ikonos, OSA	Ближний инфракрасный №4, Красный №3	Открытые участки выявлены по прямым признакам в виде единой трассы без разделения на отдельные трубопроводы, подземные участки выявлены по косвенным признакам (видны отдельные элементы трассы, имеются близкорасположенные грунтовые дороги, наличие изменения растительного и почвенного покрова)	10
Ла Коруна (Испания)	QuickBird , BHRC-60	Ближний инфракрасный №4	Открытых участков нет, слабая выявляемость трассы трубопровода, подземный участок выявлен по косвенным признакам (местами имеются слабо выраженные изменения поверхности асфальта, известно взаимное расположение близлежащих объектов)	15
Малага (Испания)	QuickBird , BHRC-60	Ближний инфракрасный №4, Красный №3	Открытые участки выявлены по прямым признакам в виде единой трассы с разделением на отдельные трубопроводы, подземные участки выявлены по косвенным признакам (видны отдельные элементы трассы, имеются близкорасположенные грунтовые дороги, наличие изменения растительного и почвенного покрова)	15
Таррагона (Испания)	QuickBird , BHRC-60	Ближний инфракрасный №4, Красный №3	Открытых участков нет, подземный участок выявлен по косвенным признакам (видны отдельные элементы трассы, имеются близкорасположенные грунтовые и асфальтные дороги, реки, наличие изменения растительного и почвенного покрова)	20
Алхасирас (Испания)	QuickBird , BHRC-60	Ближний инфракрасный №4	Открытые участки выявлены по прямым признакам в виде единой трассы с разделением на отдельные трубопроводы, подземный участок выявлен по косвенным признакам (видны отдельные элементы трассы, имеются близкорасположенные асфальтные дороги, местами имеются слабо выраженные изменения поверхности асфальта, известно взаимное расположение близлежащих объектов)	15
Хихон (Испания)	Ikonos, OSA	Ближний инфракрасный №4	Открытые участки выявлены частично по прямым признакам в виде единой трассы без разделения на отдельные трубопроводы, (видны отдельные элементы трассы, имеются близкорасположенные асфальтные дороги, местами имеются слабо выраженные изменения поверхности асфальта, известно взаимное расположение близлежащих объектов)	10
Пальма де Мальорка (Испания)	Комета, KBP-1000 МКС, Kodak DCS760	Панхроматическое изображение	Открытые участки выявлены частично по прямым признакам в виде единой трассы без разделения на отдельные трубопроводы, (видны отдельные элементы трассы, известно взаимное расположение близлежащих объектов)	-
Сахалин (Россия)	Landsat-7, ETM+	По значимости: №№ 5, 7-4-2, 3,2	Подземный трубопровод выявлен полностью по косвенным признакам (имеются близкорасположенные грунтовые дороги, реки, мосты, наличие изменения растительного и почвенного покрова)	~ 300
Подводный переход через реку Сылва (Россия)	Ресурс-Ф1М, KFA-1000	0,57-0,81 мкм	Выявление участка подводного перехода проведено по косвенным признакам (обнаруживаются места входа газопроводов в воду, присыпки на берегах, блоки крановых узлов)	-

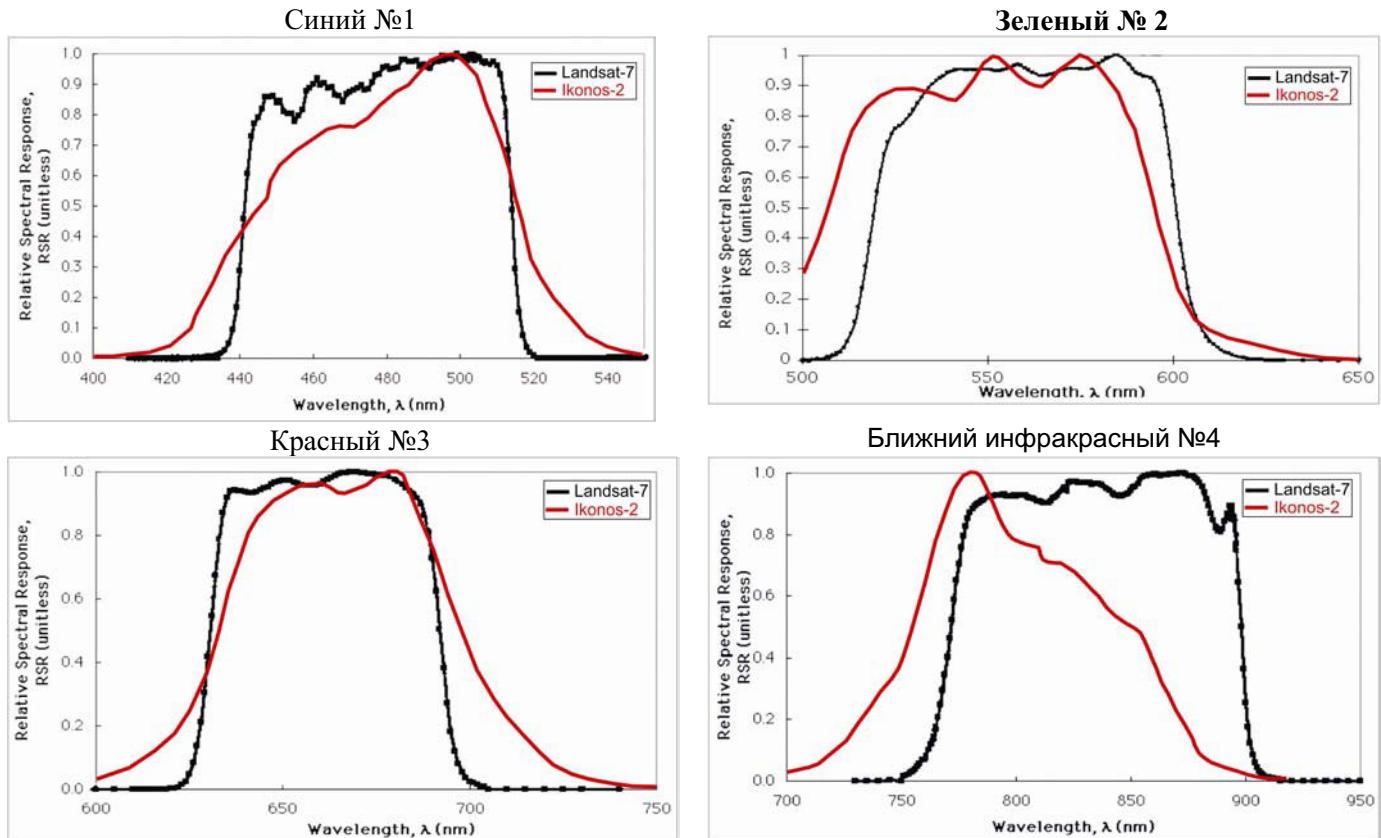


Рис. 1. Сравнение спектральных характеристик Синего №1, Зеленого №2, Красного №3 и Ближнего инфракрасного №4 каналов сенсоров ETM+ (Landsat-7) и OSA (Ikonos-2)

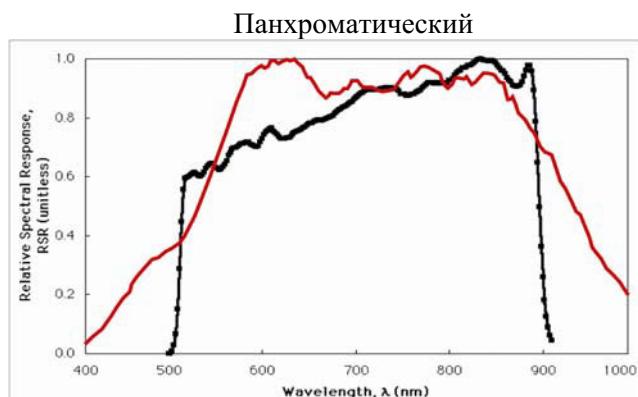


Рис. 2. Сравнение спектральных характеристик панхроматического канала сенсоров ETM+ (Landsat-7) и OSA (Ikonos-2)

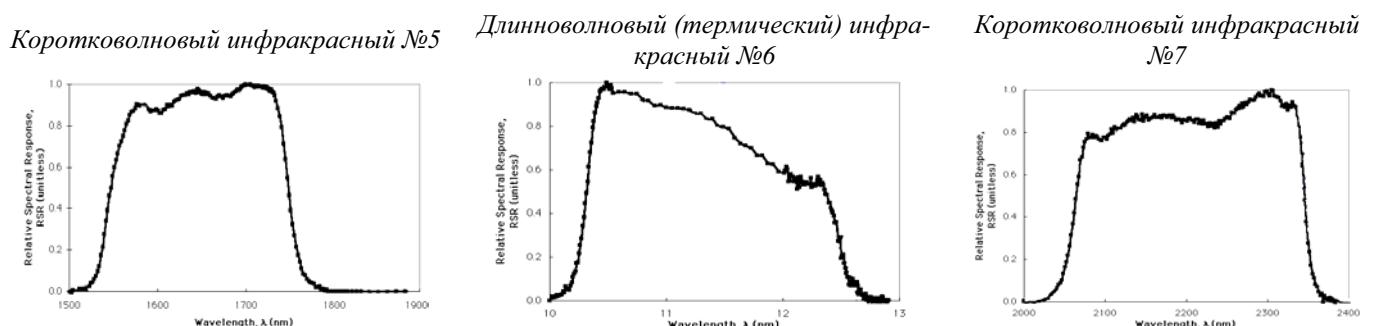


Рис. 3. Относительная спектральная чувствительность сенсора ETM+ (Landsat-7) в инфракрасных каналах

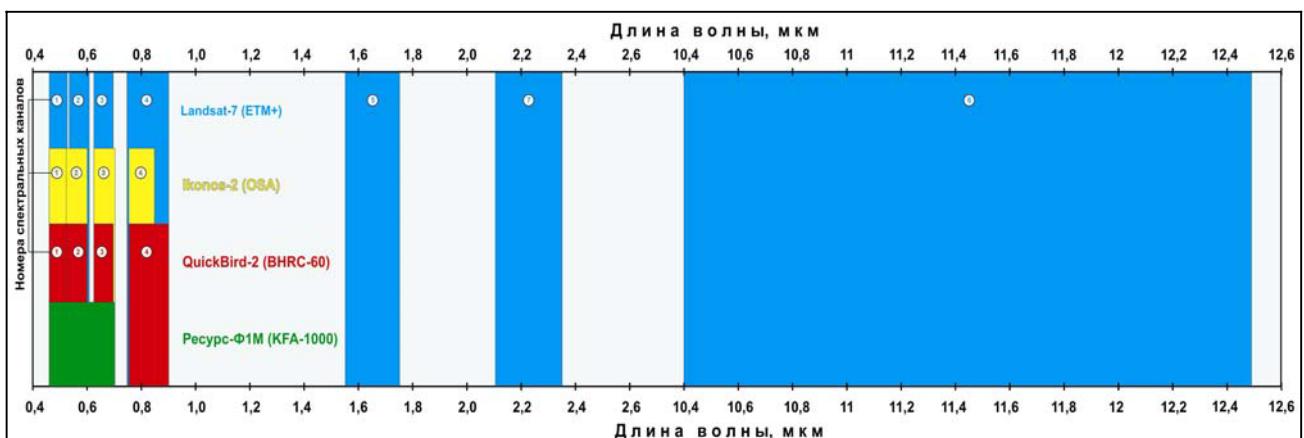


Рис. 4. Взаимное расположение спектральных каналов сенсоров исследуемых космических систем высокого и сверхвысокого пространственного разрешения

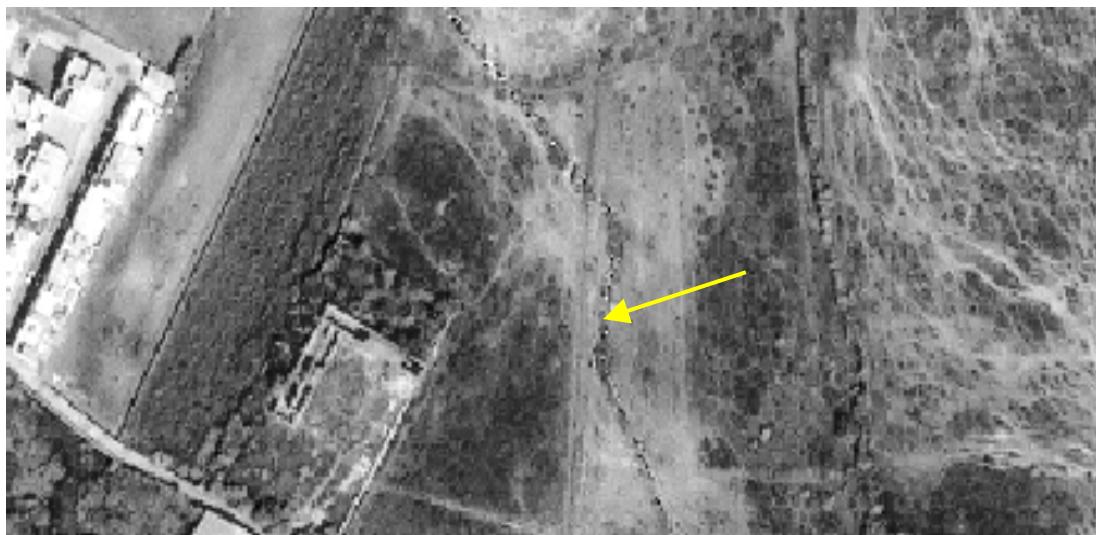


Рис. 5. Подземный участок трассы трубопроводов, проходящий через поле

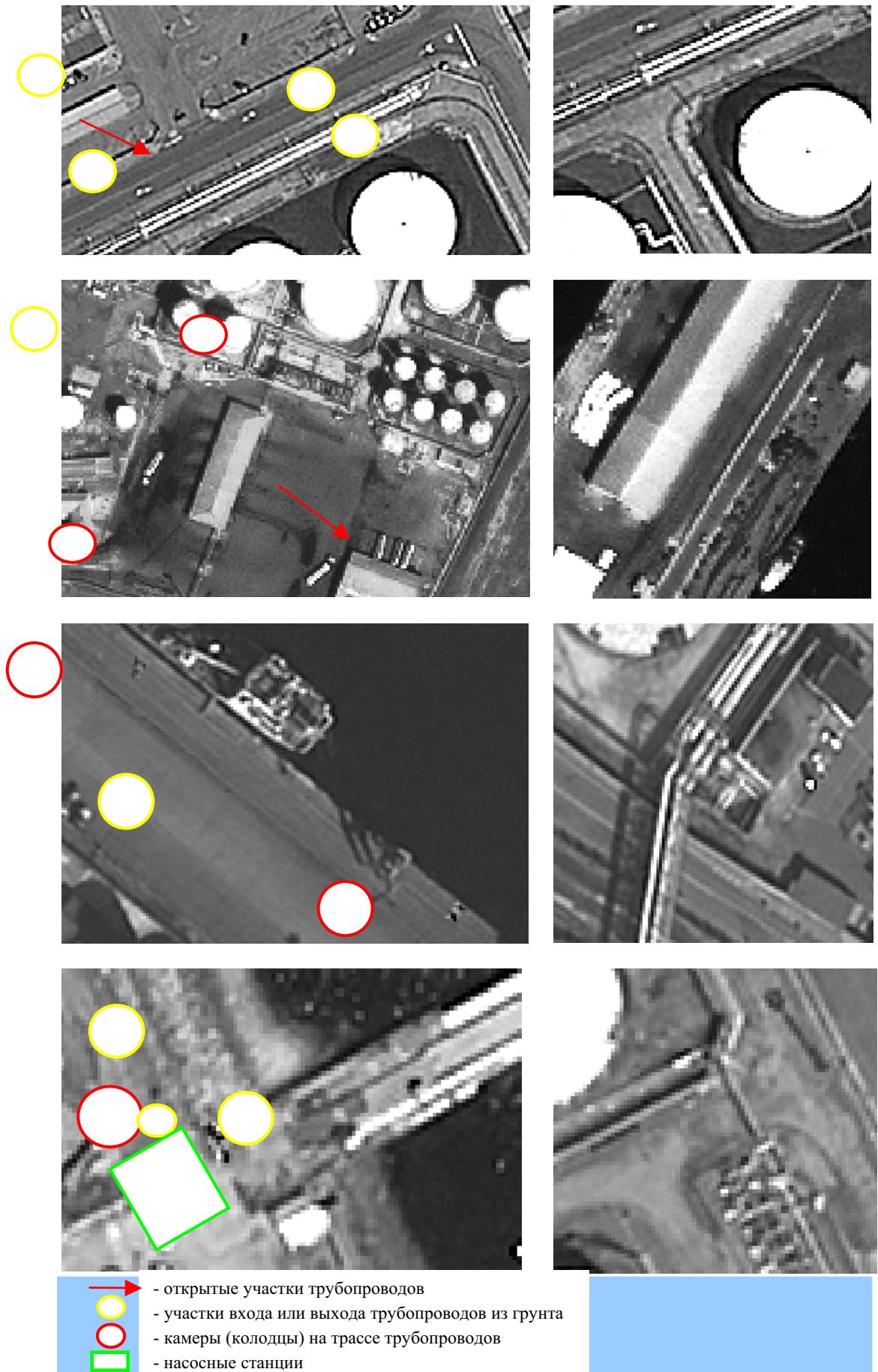


Рис. 6. Выявление объектов техносфера, их характерных узлов и элементов

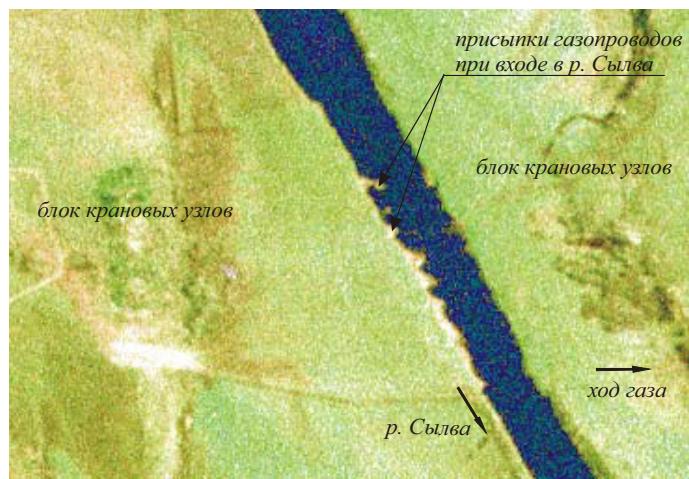


Рис. 7. Подводный переход газопроводов через р. Сылва на космическом снимке KFA-1000

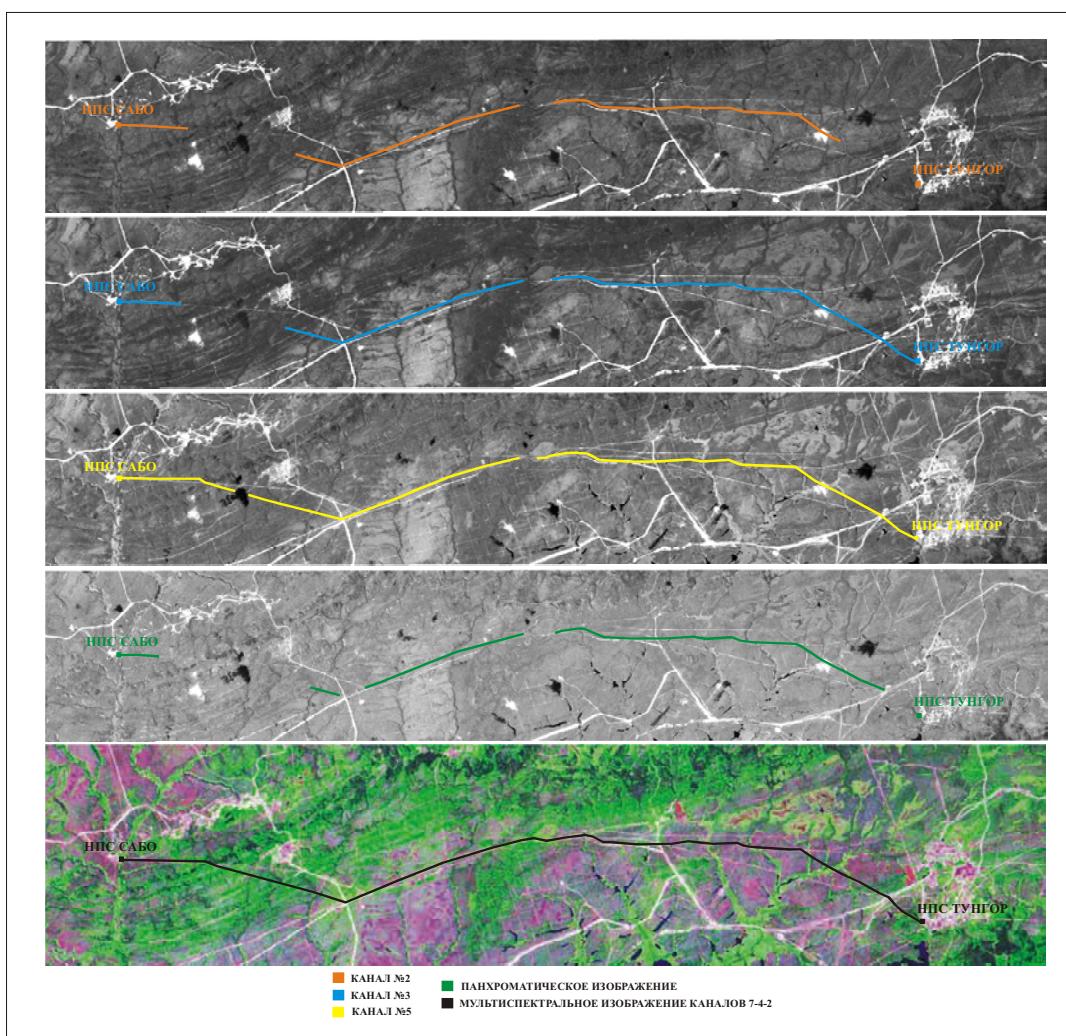


Рис. 8. Выявляемость трассы нефтепровода на о. Сахалин с использованием различных каналов системы Landsat-7

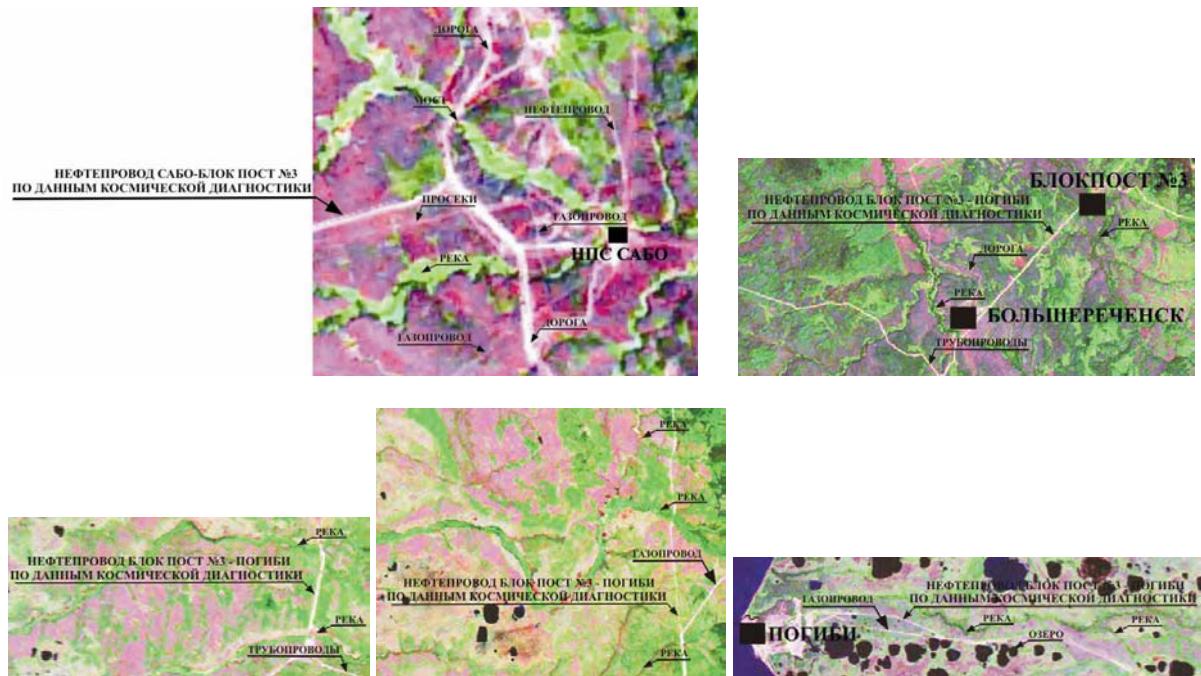


Рис.9. Характерные участки взаимного расположения других объектов и нефтепровода

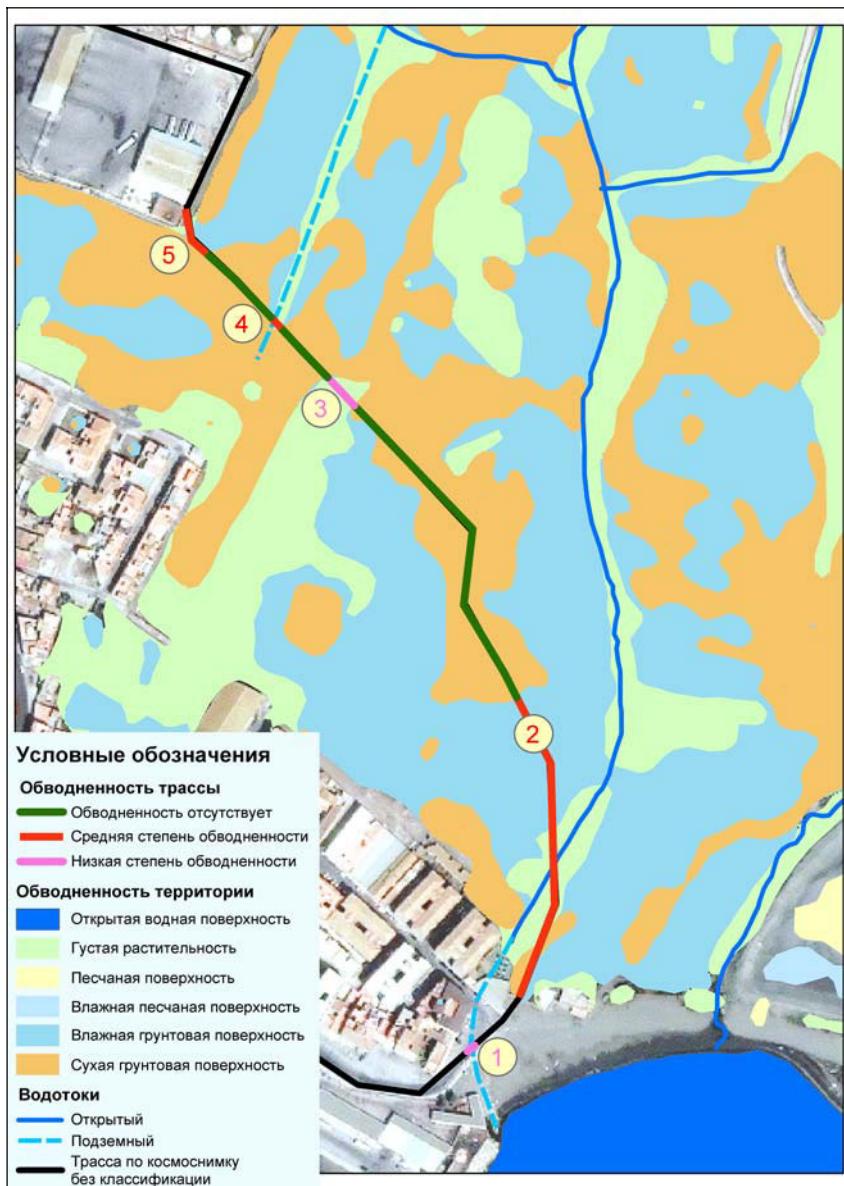


Рис. 10. Карта обводненности территории, прилегающей к трассе трубопровода

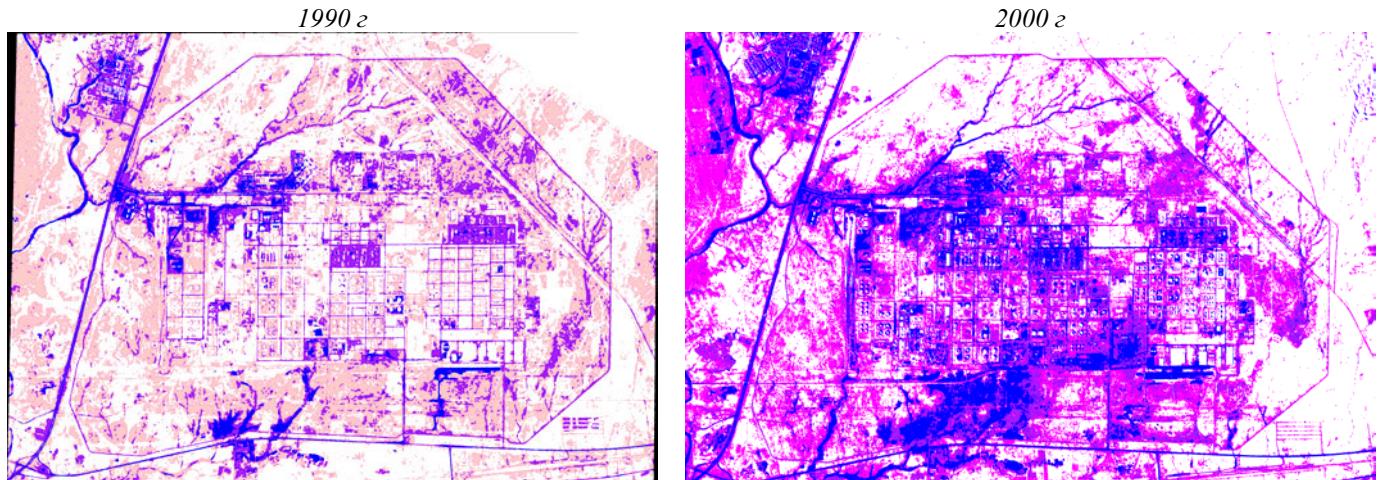


Рис. 11. Динамика подтопления нефтеперерабатывающего завода



Рис. 12. Области, которые могут оказать отрицательное влияние на нормальную работу трубопроводов на территории порта Ла Коруна



Рис. 13. Области, которые могут оказать отрицательное влияние на нормальную работу трубопроводов на территории порта Хихон

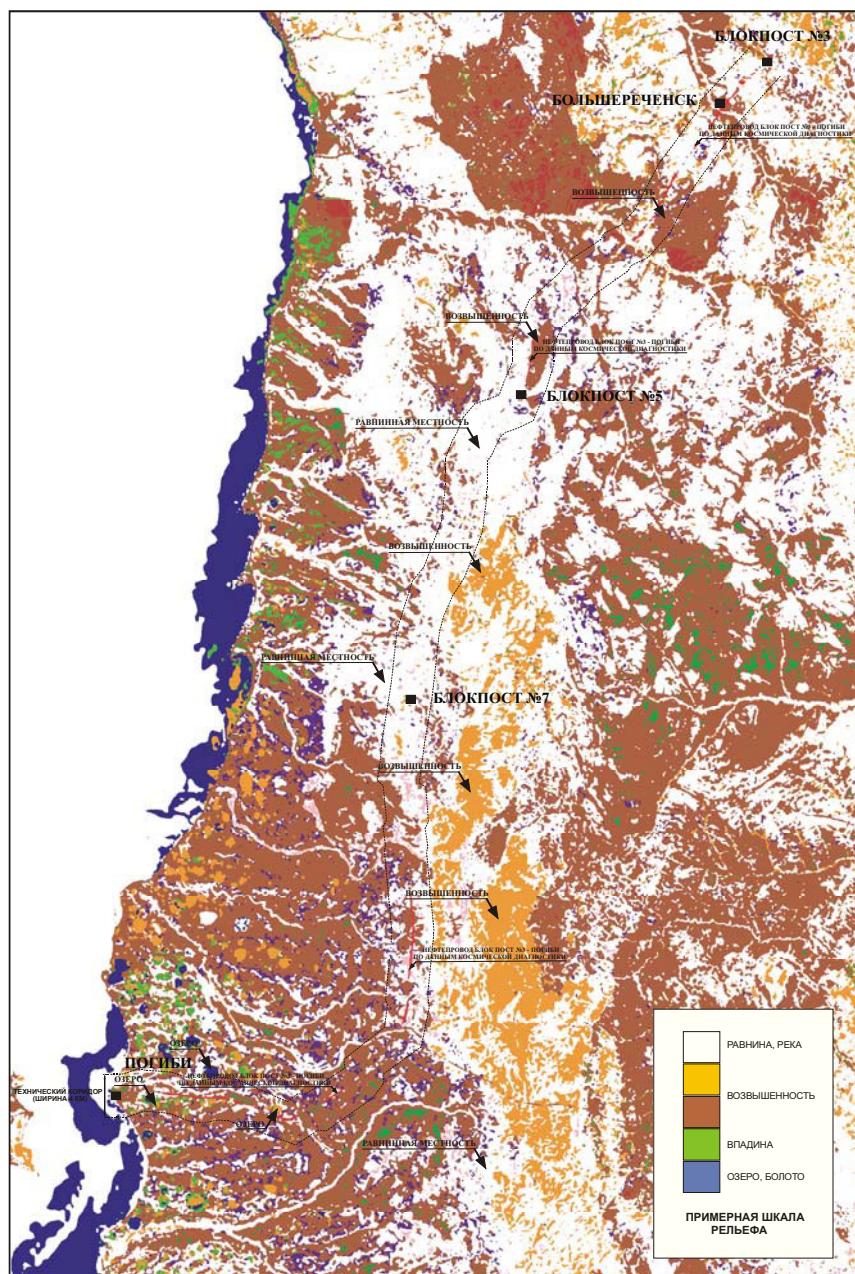


Рис. 14. Результаты анализа рельефа  
с помощью классификатора ERDAS IMAGINE