

ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА:  
ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ



# **ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА: ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

Научно-популярное издание

Москва  
© ИТЦ СканЭкс 2005

УДК 550.1/.2:629.78:004.382.7  
ББК 26.3  
И 38

*Научные консультанты:*

**Кравцова В.И.**, доктор геогр. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры Картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова;

**Маслов А.А.**, доктор биологических наук, Институт лесоведения РАН;

**Тутубалина О.В.**, кандидат геогр. наук, научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры Картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, доктор Кембриджского университета по ДЗЗ.

**Изображения Земли из космоса: примеры применения:** Научно-популярное издание – М.: ООО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «СКАНЭКС», 2005.– 100 с.: ил.  
ISBN 5-9900182-2-3

Издание продолжает серию публикаций ИТЦ СканЭкс, посвященных различным аспектам работы с изображениями Земли из космоса. Настоящее издание посвящено использованию спутниковой информации. Еще несколько лет назад изображения Земли из космоса использовались лишь узким кругом специалистов. Современные технические средства позволяют принимать изображения с искусственных спутников Земли на персональный компьютер, а новейшие программные средства дают возможность легко и быстро обрабатывать эту информацию, вести ее электронные архивы, что делает ее доступной для самого широкого круга пользователей. Спутниковые снимки становятся повседневным источником объективной информации для решения задач в различных отраслях человеческой деятельности – с реальными примерами читатель может ознакомиться в представленном издании.

Издание предназначено как для специалистов в области дистанционного зондирования Земли из космоса и ГИС-технологий, так и для самого широкого круга читателей, интересующихся применением спутниковых изображений для решения практических задач регионов, городов и предприятий.

*Защита интеллектуальных прав собственности*

Все права защищены. Никакая часть настоящего издания не может быть воспроизведена в любой форме никакими электронными и механическими средствами, включая фотокопирование, запись и информационно-поисковые системы хранения, без письменного разрешения со стороны собственников авторского права.

ISBN 5-9900182-2-3

© ООО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЦЕНТР «СКАНЭКС», 2005

Уважаемые коллеги!

Представляем вашему вниманию издание, которое продолжает серию публикаций ИТЦ СканЭкс, посвященных различным аспектам работы с изображениями Земли из космоса. Три предыдущие публикации посвящены персональным станциям приема, программному обеспечению для хранения и обработки информации о Земле из космоса, а также архивам спутниковых снимков Земли и способам доступа к ним. Настоящее издание рассказывает об использовании спутниковой информации, то есть о том, для чего эта информация принимается, хранится и проходит стадии предварительной обработки для дальнейшего тематического анализа.

Люди давно осознали, что Земля не так уж велика: космические корабли облетают ее всего за полтора часа. И, оказывается, что изображения Земли, полученные из космоса, дают колоссальные возможности для исследования процессов, происходящих на планете; для решения проблем комплексного изучения, освоения и рационального использования природных ресурсов. Космические снимки являются самыми достоверными источниками информации для проектов глобального изучения Земли, позволяют вести картографирование ее поверхности быстрее и экономичнее по сравнению с авиационными и наземными измерениями. Из космоса человечество получило возможность наблюдать за циркуляцией атмосферы на больших территориях в режиме реального времени, что незаменимо при составлении надежных метеорологических прогнозов. Для арктических регионов спутниковые исследования Земли из космоса являются основными, а в ряде случаев единственно возможными методами наблюдений за состоянием ледового покрова морей. Особо важную роль методы дистанционного зондирования играют при обеспечении ледовой навигации — от долговременного (на ледовый сезон) их планирования до непосредственного оперативного сопровождения ледового плавания. Все шире космическая информация применяется федеральными и местными администрациями для планирования экономики, управления территориями, оценки последствий природных и техногенных катастроф. Например, вовремя заметить появление ледового затора на реке можно, только имея последовательность снимков этого участка. Таким образом, система оперативного получения изображений Земли из космоса должна работать повсеместно, обеспечивая технологически простой, экономически оправданный и быстрый доступ к данным — серии изображений одной и той же территории.

Еще несколько лет назад изображения Земли из космоса использовались лишь узким кругом специалистов. Современные технические средства позволяют принимать изображения с искусственных спутников Земли на персональный компьютер, а новейшие программные средства дают возможность легко и быстро обрабатывать эту информацию, вести ее электронные архивы, что делает ее доступной для самого широкого круга пользователей. Поэтому спутниковые снимки становятся повседневным источником объективной и актуальной информации для решения задач в различных отраслях человеческой деятельности: с реальными примерами вы можете ознакомиться в представленном издании.

Мы готовы предоставить консультацию по интересующим вас прикладным направлениям использования спутниковых снимков, а также предоставить как сами снимки, так и информацию о технических и программных средствах для приема, хранения и предварительной обработки изображений Земли из космоса.

Приглашаем вас к сотрудничеству!

## СОДЕРЖАНИЕ

---

5	Термины и сокращения
7	Обновление карт по космическим снимкам
19	Зерновое сельское хозяйство — вид из космоса
33	Использование космических снимков в лесном хозяйстве
43	Мониторинг лесных и торфяных пожаров
49	Мониторинг ледовой обстановки
61	Мониторинг снежного покрова
73	Наблюдения за паводками и наводнениями
83	Мониторинг морских акваторий
87	Мониторинг экологических катастроф: обмеление Аральского моря
91	Мониторинг опасных природных явлений: Геналдонская ледниковая катастрофа 2002 г.

## ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ

### Пояснения к используемым терминам

Как правило, при упоминании снимков вначале пишется название спутника, с которого они получены, а затем съемочного аппарата, например, Terra MODIS.

Для создания цветного изображения спектральные зоны многозональных космических снимков синтезируют – выбранные три зоны окрашивают в красный, зеленый и синий цвета (синтез RGB – Red, Green, Blue) и совмещают. Например, для синтезированных снимков LISS, получаемых со спутников IRS-1C/1D, МСУ-Э и МСУ-СК – со спутников серий Ресурс-О1 и Метеор-ЗМ, ASTER – со спутника Terra, часто применяется комбинация спектральных зон 3:2:1 (ближняя инфракрасная–красная–зеленая). Благодаря ближней инфракрасной зоне пользователь имеет возможность различать объекты, невидимые в обычном свете, однако изображение получается в неестественных тонах: растительность отображается красным, городская застройка – голубым, вода – черным. Для удобства в ряде примеров для снимков LISS была искусственно смоделирована синяя спектральная зона, чтобы представить их в «натуральных» цветах.

В некоторых примерах используются синтезированные изображения повышенной детальности, полученные путем совмещения по особому алгоритму многозональных снимков с панхроматическими более высокого разрешения: например, IRS-1C/1D LISS (23 м) с PAN (5.8 м); Landsat ETM+ (30 м) с панхроматическим каналом (15 м). Такие производные изображения сочетают цветовую информацию многозональных снимков с пространственной детальностью панхроматических. В этом случае в подписи к снимку отмечается, что он приведен к определенному разрешению.

### Сокращения наиболее употребительных названий съемочных систем и спутников:

- ASTER** – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (сенсор на спутнике Terra)
- EOS** – Earth Observing System (космическая программа ДЗЗ США)
- ETM+** – Enhanced Thematic Mapper Plus (сенсор на спутнике Landsat 7)
- IRS** – Indian Remote Sensing satellite (серия спутников ДЗЗ Индии)
- LISS** – Linear Imaging Self-scanning Sensor (сенсор на спутниках серии IRS)
- LISS/PAN** – используется для обозначения совмещенных изображений (пространственное разрешение LISS приведено к PAN)
- MODIS** – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (сенсор на спутниках серии EOS)
- PAN** – Panchromatic (панхроматический)
- SAR** – Synthetic Aperture Radar (радар с синтезированной апертурой)
- TM** – Thematic Mapper (сенсор на спутниках Landsat 4, 5)

## ОБНОВЛЕНИЕ КАРТ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

### Топографические карты

Топографические карты дают нам представление об окружающем нас мире и позволяют ориентироваться в нем, показывая все видимые элементы местности с одинаковой подробностью. На них отображаются: рельеф, гидрография, растительность, почвы и грунты, населенные пункты, дорожная сеть, социально-экономические и другие объекты, что позволяет комплексно оценивать территорию. Топографическими масштабами принято считать ряд 1:10 000–1:200 000.



На данный момент на карте мира практически не осталось белых пятен — топографические карты покрывают почти всю поверхность суши нашей планеты, хотя не все они одинаково детальные. Территория России к 1988 г. была полностью покрыта картами в масштабе 1:25 000, а около трети территории страны — в масштабе 1:10 000. Однако большая часть этих карт не обновляется систематически.

Между тем, современный мир очень изменчив: растут города, появляются новые поселения, строятся дороги, коммуникационные сети, инженерные сооружения, осваиваются новые районы добычи полезных ископаемых, вырубается леса, изменяется структура землепользования. Поэтому постоянно возникает задача обновления топографических карт. Так как государственные топографические карты основных масштабов для России уже созданы, составление топографических карт заново требуется реже — только в случае кардинальных изменений, таких как строительство новых городов и крупных сооружений.

В качестве первичного материала для топографических карт традиционно использовались аэрофотоснимки. Космические цифровые снимки открывают новые возможности: удешевление повторных съемок, увеличение площади охвата местности и снижение искажений, связанных с рельефом. Кроме того, упрощается генерализация изображения на мелкомасштабных картах: вместо трудоемкого упрощения крупномасштабных карт можно сразу использовать космические снимки среднего разрешения. Поэтому съемки из космоса используются все шире и шире, и в перспективе могут стать основным методом обновления топографических карт.

При выборе снимков для составления карт определенного масштаба учитывают графическую точность рисовки и печати карт (0,1 мм). Например, снимки должны иметь пространственное разрешение не хуже 100 м для карт масштаба 1:1 000 000 и не хуже 10 м для карт масштаба 1:100 000. Соответственно по снимкам IRS-1C/D PAN с размером пиксела 5,8 м можно

Рекомендуемые масштабы для составления и обновления топографических, обзорно-топографических и обзорных карт по космическим снимкам														
Тип снимков, размер пиксела	Масштаб													
	10 000 – 25 000		25 000 – 50 000		50 000– 100 000		100 000 – 200 000		200 000 – 500 000		500 000 – 1 000 000		Мельче 1 000 000	
Terra/Aqua MODIS, 250–1000 м														
Ресурс МСУ-СК, 140 м														
Ресурс/Метеор МСУ-Э, 35–45 м														
Landsat TM, 30 м														
Landsat ETM +, 15–30 м														
Terra ASTER, 15 м														
IRS LISS, 23 м														
RADARSAT SAR, 8 м, 25–30 м														
IRS PAN, 5,8 м														

 Составление карт
  Обновление карт

составлять многие элементы содержания карт масштаба 1:50 000 и мельче (некоторые элементы топографических карт, такие как отдельно стоящие деревья, ширина рек в масштабе карты и др., требуют более детальных снимков). Снимки Landsat 7 ETM+ и Terra ASTER с размером пиксела 15 м позволяют составлять многие элементы содержания карт масштаба 1:200 000 и мельче. Некоторые параметры, например длину, ширину и материал мостов, изображаемых на картах 1:200 000, нельзя получать по снимкам, поэтому необходимо привлекать дополнительные источники данных.

При обновлении карт наносятся лишь изменения контуров элементов, а при составлении карт необходимо определить точное положение этих элементов. Поэтому для составления топографических карт требуются космические снимки более высокого разрешения, чем для их обновления.

Причем следует учитывать, что при составлении и обновлении топографических карт определенного масштаба одни и те же типы космических снимков могут быть пригодны или непригодны для различных элементов содержания топографических карт.



### Возможности применения данных спутников IRS для обновления крупномасштабных топографических карт



Топографическая карта масштаба 1:50 000.  
Состояние местности на 1994 г.



Снимок IRS-1D, синтез RGB LISS3: PAN:LISS1.  
Пространственное разрешение 23 м.  
Дата съемки: 22 мая 2002 г.  
Район Геленджика (Краснодарский край)  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.

На снимке хорошо видно увеличение объектов сельской застройки (1), появление новых дорог (2) и садовых участков (3). Возможно обновление очертаний существующих водоемов (4) и установление границ новых (5), а также уточнение границ карьерных разработок (6).





Топографическая карта масштаба 1:25 000.  
Состояние местности на 1994 г.



По снимку можно уточнить  
очертания береговой линии (1)  
и нанести новые объекты,  
например пирсы (2)

Снимок IRS-1D LISS/PAN, синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение приведено к 6 м.  
Дата съемки: 22 мая 2002 г. Район Геленджика  
Желтой линией показаны очертания береговой линии с топографической карты масштаба 1:25 000





Топографические карты масштаба 1:25 000.  
Состояние местности на 1994 г.

Снимок IRS-1D LISS/PAN, синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение приведено к 6 м.  
Дата съемки: 22 мая 2002 г.  
Район Геленджика

Снимок позволяет отслеживать динамику береговой линии и приуроченных к ней объектов (1), позволяет обнаружить объекты, отсутствующие на карте (аэропорт – 2), увидеть изменение границ водоемов (3). Хорошо видны новые и улучшенные дороги (4), расчищенные площади под дачи или сады (5).



**Динамика развития городских территорий в местах интенсивной жилой застройки. Районы Северное и Южное Бутово (г. Москва)**



Фрагмент топографической карты из Атласа Московской области, 2001 г.  
Штриховкой обозначена вновь появившаяся застройка городской территории,  
отдешифрированная по космическому снимку 2002 г.



Фрагмент космического снимка IRS-1D LISS/PAN, синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение приведено к 6 м. Дата съемки: 20 мая 2002 г.

© ООО АСТ-Пресс «Картография»,  
© ООО Фирма «Арбалет»  
© ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.

## Тематические карты



Космические снимки позволили не только ускорить составление и обновление тематических карт, но и открыть новые явления, а также создать новые типы карт. Например, только на космических снимках видны системы облачности, оперативная съемка которых позволяет метеорологам уточнять прогнозы и следить за опасными стихийными явлениями, например ураганами. Геологи составляют по мелкомасштабным космическим снимкам карты линеаментов и кольцевых структур, необходимые для разведки полезных ископаемых. На крупномасштабных аэроснимках эти структуры не видны.

Снимки широко используются для обновления геологических, геоморфологических, гидрологических, океанологических, метеорологических, геоботанических, почвенных, ландшафтных карт. Для каждого типа тематических карт имеется своя методика их составления и обновления по космическим снимкам, использующая в определенном сочетании рисунок снимка и значения яркости в каждой его точке (соответствующие спектральной отражательной способности поверхности, ее температуре или другим характеристикам, в зависимости от типа снимка). Использование космических снимков при составлении тематических карт способствует увеличению детальности карты и рисовке контуров, в большей мере соответствующих природному рисунку.

При тематическом картографировании требования к точности нанесения положения объекта обычно несколько ниже, чем для топографических карт. Поэтому по одним и тем же снимкам можно составлять тематические карты более крупного масштаба. Например, снимки, получаемые со спутников IRS спектрорадиометром PAN с размером пиксела 5,8 метра, пригодны для создания некоторых элементов содержания топографических карт масштаба 1:50 000, а для целей тематического картографирования – вплоть до масштаба 1:10 000 (конечно, это зависит и от тематики карт).

Важно отметить, что использование космических снимков, в сочетании с полевыми исследованиями, позволяет оперативно обновлять различные серии государственных карт, в том числе карты лесной таксации, карты почв, геоботанические карты.

Рекомендуемые масштабы для составления и обновления тематических карт по космическим снимкам														
Тип снимков, размер пиксела	Масштаб													
	10 000 – 25 000		25 000 – 50 000		50 000– 100 000		100 000 – 200 000		200 000 – 500 000		500 000 – 1 000 000		Мельче 1 000 000	
Terra/Aqua MODIS, 250–1000 м														
Ресурс МСУ-СК, 140 м														
Ресурс/Метеор МСУ-Э, 35–45 м														
Landsat TM, 30 м														
Landsat ETM +, 15–30 м														
Terra ASTER, 15 м														
IRS LISS, 23 м														
RADARSAT SAR, 8 м, 25–30 м														
IRS PAN, 5,8 м														

 Составление карт
  Обновление карт

### Обновление мелкомасштабной карты типов болот Западно-Сибирской равнины по космическим снимкам

Традиционно для составления мелкомасштабных карт растительности использовался метод ключей. Для типичных (ключевых) участков экспедициями собирались подробные геоботанические данные. Затем полученная информация распространялась на участки, похожие на ключевые, и таким образом заполнялась вся площадь карты. Похожие участки (однотипные по увлажненности, экспозиции, абсолютной высоте, преобладающим видам растений) выделялись на основе анализа топографических карт, карт лесной таксации, ранее составленных карт растительности на отдельные участки, аэро- и космических снимков (при их наличии). При этом карты растительности для одной и той же территории могли существенно различаться в связи с разными подходами к их составлению, разным назначением карт, разным качеством и полнотой исходных материалов. Например, сравнивая Типологическую карту болот (1977, масштаб 1:2 500 000) и Карту растительности Западно-Сибирской равнины (1976, масштаб 1:1 500 000) на стр. 16, мы видим, что на более мелкомасштабной карте 1977 г. контура более



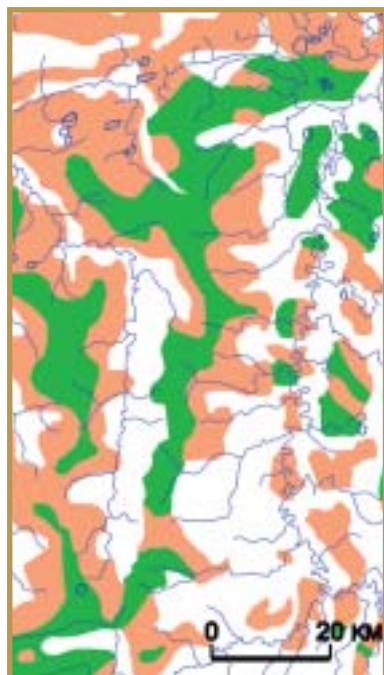
подробные и лучше согласуются с гидрографической сетью территории. Это связано как с разным назначением карт, так, по-видимому, и с качеством исходных материалов.

Поскольку к настоящему моменту практически вся территория России покрыта современными цифровыми многозональными снимками Landsat ETM+, открываются новые возможности для картографирования растительности. Автоматизированное дешифрирование фрагмента космического снимка на тот же район Западной Сибири позволило значительно детализировать контуры болот различных типов и ввести дополнительный тип – моховые болота (практически лишенные лесной растительности).

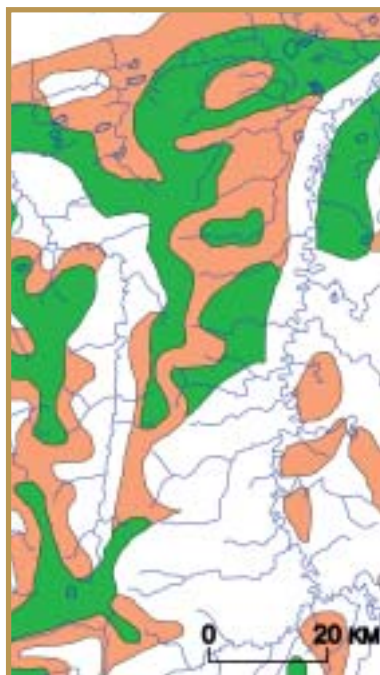
Снимки такой детальности пригодны для составления карт более крупного масштаба (1:100 000– 1:1 000 000).



### Уточнение и обновление карты типов болот Западно-Сибирской равнины по космическим снимкам относительно высокого разрешения (Landsat 7 ETM+)



Фрагмент типологической карты болот (под ред. Романовой Е.А., 1977 г.). Оригинальный масштаб карты 1: 2 500 000



Фрагмент карты растительности (под ред. Ильиной И.С., 1976 г.). Оригинальный масштаб карты 1: 1 500 000

Легенда к типологической карте болот Западно-Сибирской равнины (в пределах Ханты-Мансийского автономного округа)

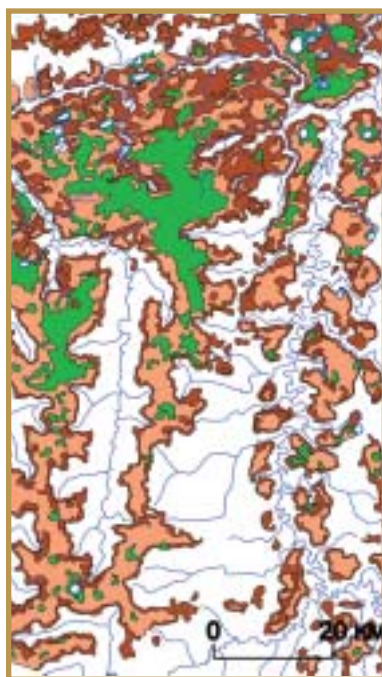
- Грядово-озерковые**  
(гряды – сосново-кустарничково-сфагновые, в сочетании с озерами)
- Грядово-мочажинные**  
(гряды – сосново-кустарничково-сфагновые, мочажины – пушицево-сфагновые и шейцерицево-пушицево-сфагновые)
- Моховые**  
(кустарничково-сфагновые и кустарничково-сфагново-пушицевые, редко облесенные сосной)



Фрагмент космического снимка Landsat 7 ETM+.  
Дата съемки: 20 мая 2002 г.



Фрагмент космического снимка Landsat 7 ETM+ с результатами автоматизированного дешифрирования



Фрагмент уточненной типологической карты болот Западно-Сибирской равнины (генерализация контуров соответствует масштабу 1:500 000)



## ЗЕРНОВОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО — ВИД ИЗ КОСМОСА

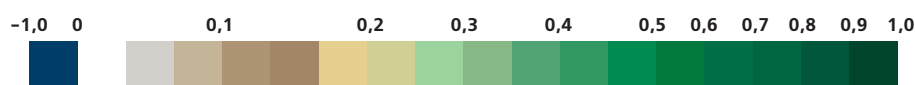
Исторически сложилось, что роль сельского хозяйства для России довольно велика, и в последние годы после некоторого спада наблюдается повышение интереса к этому сегменту российской экономики. В большинстве своем это связано со сменой земельной политики России: у земли появляется собственник, который заинтересован в оптимальном ее использовании.

Обширные территории, занимаемые сельскохозяйственными угодьями, довольно сложно контролировать из-за недостатка точных карт, неразвитой сети пунктов оперативного мониторинга, наземных станций, в том числе и метеорологических, отсутствия авиационной поддержки, ввиду дороговизны содержания штата и т.д. Кроме того, в силу различного рода природных процессов, происходит постоянное изменение границ посевных площадей, характеристик почв и условий вегетации на различных полях и от участка к участку. Все эти факторы препятствуют получению объективной, оперативной информации, необходимой для констатации текущей ситуации, ее оценки и прогнозирования. А без этого практически невозможны увеличение производства сельскохозяйственной продукции, оптимизация использования земель, прогнозирование урожайности, уменьшение затрат и повышение рентабельности. За рубежом аналогичные проблемы успешно решаются благодаря применению данных аэро- и космической съемки, а также широкому использованию средств спутниковой навигации (GPS) при мониторинге посевов и при сборе урожая, для изучения состояния растительного покрова и прогноза продуктивности выращиваемых культур. В нашей стране использование данных спутникового зондирования в сельском хозяйстве представляет собой быстро развивающееся и перспективное направление. Материалы космической съемки могут помочь как для решения комплексных задач управления сельскохозяйственными территориями, так и в узкоспециализированных направлениях.

Типичными задачами в этой области являются: инвентаризация сельскохозяйственных угодий, контроль состояния посевов, выделение участков эрозии, заболачивания, засоленности и опустынивания, определение состава почв, слежение за качеством и своевременностью проведения различных сельскохозяйственных мероприятий. При систематической повторяемости съемок — наблюдение за динамикой развития сельскохозяйственных культур и прогнозирование урожайности. Например, зная, как меняется спектральная яркость растительности в течение вегетационного периода, можно по тону изображения полей судить об их агротехническом состоянии. После перезимовки состояние озимых культур оценивается по различию в цвете здоровых и погибших растений, состояние озимых и яровых до уборки урожая — на основе учета степени покрытости почвы всходами и равномерности их распределения.

## Использование карт вегетационных индексов, полученных по космическим снимкам

Как известно, отражение растительного покрова в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра тесно связано с его зеленой фитомассой. Для того чтобы количественно оценить состояние растительности, широко применяется так называемый нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI характеризует также плотность растительности, позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Индекс рассчитывается как разность значений отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, деленная на их сумму. В результате значения NDVI меняются в диапазоне от  $-1$  до  $1$ . Для зеленой растительности отражение в красной области всегда меньше, чем в ближней инфракрасной, за счет поглощения света хлорофиллом, поэтому значения NDVI для растительности не могут быть меньше  $0$  (см. таблицу ниже). Расчет индекса для каждого пиксела космического снимка по красной и ближней инфракрасной спектральным зонам позволяет получить производное изображение — карту NDVI.



NDVI позволяет выявить проблемные зоны угнетенной растительности, давая возможность принимать наиболее верные в долгосрочной перспективе решения, направленные на повышение урожайности. Участки с различным состоянием растительности или объемом зеленой фитомассы могут быть изображены различными цветами. При помощи статистической обработки карт NDVI помимо определения количества фитомассы можно также выделить площади посева различных сельскохозяйственных культур.



Тип объекта	Коэффициент отражения* в красной области спектра	Коэффициент отражения* в ближней инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разряженная растительность	0,1	0,3	0,5
Открытая почва	0,25	0,3	0,025
Облака	0,25	0,25	0
Снег и лед	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,01	-0,25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

\*Показывает, какая доля падающего освещения отражается объектом. Изменяется в диапазоне  $0...1$ .

### Пример комплексного подхода к мониторингу сельскохозяйственных территорий

В данном подходе подразумевается использование космических снимков среднего и высокого разрешения со спутников Terra, Aqua, Landsat, IRS. Спутники Terra и Aqua позволяют получать информацию на обширные территории в тысячи квадратных километров дважды в день, что способствует оперативной оценке сельскохозяйственных угодий в масштабах 1:3 500 00–1:1 000 000. Спутники Landsat и IRS позволяют получать детализированную информацию с частотой 2 раза в месяц и проводить исследования территории в масштабном ряду 1:15 000–1:300 000.



### Мониторинг сельскохозяйственных территорий

#### Октябрь–март

1. Изучение динамики снежного покрова.
2. Оценка влагонакопления.
3. Оценка паводковой ситуации.
4. Оценка готовности угодий к следующему сезону.

#### Апрель–май

1. Определение площади пашни, занимаемой озимыми культурами.
2. Определение площади земель без осенней послеуборочной обработки почвы.
3. Оценка состояния озимых культур для выявления и определения площади ареалов деградированных и погибших озимых.
4. Определение площади земель, на которых проведены инженерно-мелиоративные мероприятия. Оценка качества проведения осушительной мелиорации.
5. Определение площади земель, занятых сельскохозяйственными культурами.
6. Определение степени увлажнения почв.
7. Определение температуры поверхности.

**Июнь–июль**

1. Определение площади земель под зерновыми, пропашными и техническими культурами.
2. Оценка состояния всходов культур.
3. Выявление очагов повышенной засоренности зерновых культур.
4. Определение площади паров (пары — поля, не занятые сельскохозяйственными культурами, находящиеся в стадии восстановления).
5. Оценка степени засоренности паров. Определение площади паров, требующих проведения противосорняковых мероприятий.
6. Выявление очагов поражения зерновых культур вследствие стихийных явлений (град, ливни, ураганы, засуха, пожары).
7. Динамика сенокосных работ. Определение площади скошенных сенокосных угодий.
8. Оперативная оценка состояния растительности, оценка фитомассы урожая.
9. Проведение работ по определению участков, требующих внесения удобрений и ядохимикатов в почву для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.
10. Мониторинг и оценка качества оросительных работ.
11. Прогнозирование и предварительная оценка урожайности.

**Август–сентябрь**

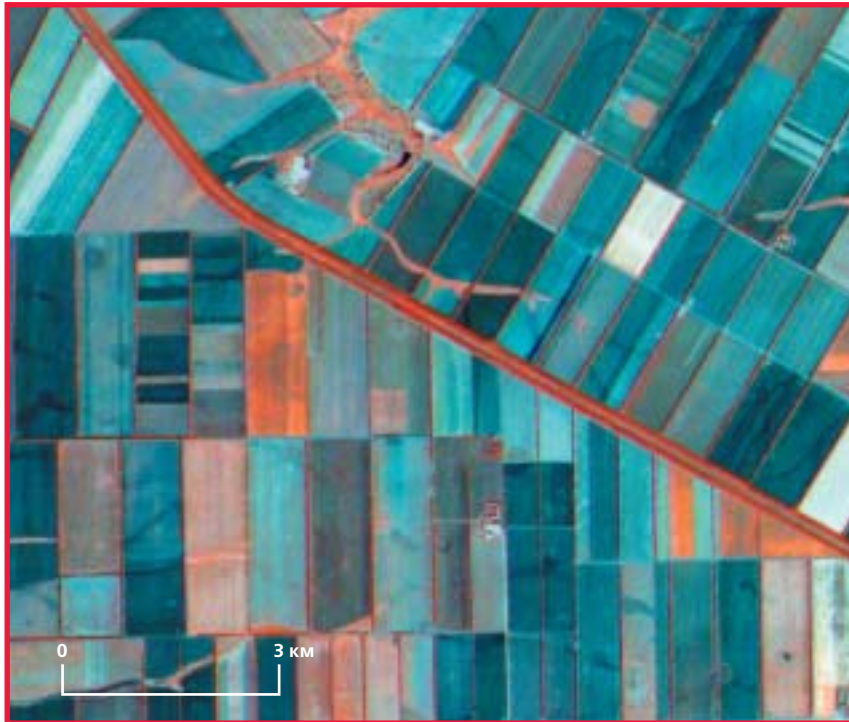
1. Мониторинг уборочных работ.
2. Оценка готовности угодий к следующему сезону.

Космические снимки высокого разрешения позволяют решать задачи исследования гидрологического режима почв, установления источников и границ обводнения, выделения (по косвенным признакам) ареалов распространения различных видов растений. Данные дистанционных измерений помогают следить за состоянием естественных угодий, пастбищ и сенокосов, выявлять и контролировать развитие эрозионных процессов и выработать противоэрозионные мероприятия.

Таким образом, начавшееся активное внедрение методов решения задач с помощью данных дистанционного зондирования поднимает сельскохозяйственное производство на качественно новый уровень.



Изображения сельскохозяйственных территорий на снимках  
высокого и среднего пространственного разрешения



Снимок IRS-1D LISS/PAN, синтез каналов LISS3: PAN:LISS1. Пространственное разрешение приведено к 5,8 м. Дата съемки: 31 августа 2002 г. ©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.

На снимке видно развитие овражно-балочной сети. Растительность на склонах оврагов выполняет противо-эрозионную функцию.

По темным пятнам на пашне выявляются переувлажненные участки. Практически каждое поле оконтурено ветрозащитными лесными полосами.



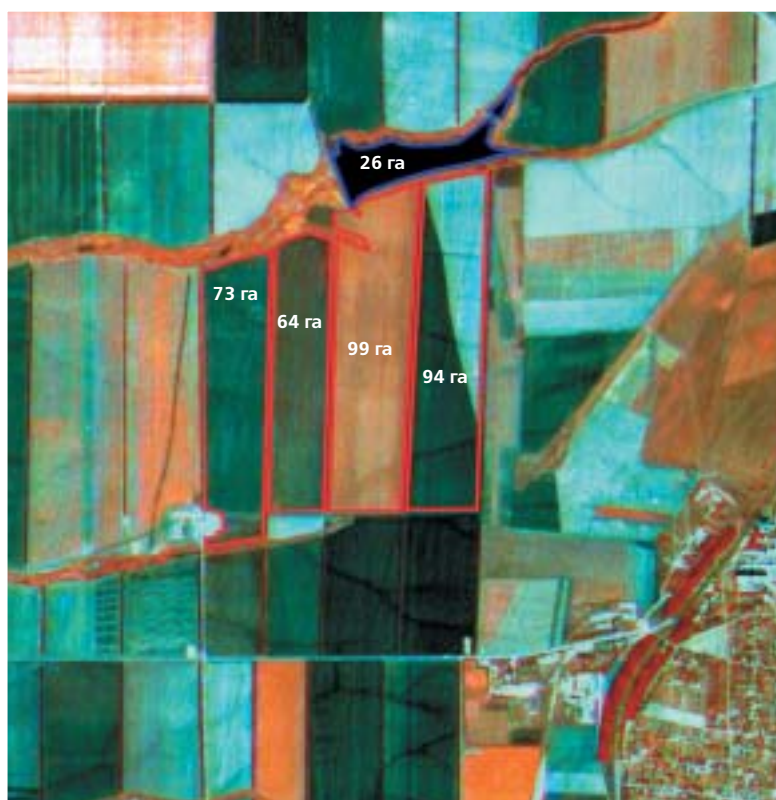
Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение 1 канала — 250 м, 3, 4 каналов — 500 м, Дата съемки: 10 июня 2003 г. Сельскохозяйственные районы России и Украины

### Уточнение границ пахотных полей и водоемов. Наблюдение за сбором урожая

Космические снимки позволяют в режиме, близком к реальному времени, получать достоверную информацию на обширные территории с высокой степенью детализации. По спутниковым данным после математической обработки можно строить точные карты землепользования. Наборы последовательных снимков дают возможность оценить изменения в использовании земель и одновременно дать прогноз продуктивности сельскохозяйственных культур.



Снимок Landsat 7 ETM+,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение  
приведено к 15 м по панхро-  
матическому каналу.  
Дата съемки: 9 августа 2000 г.  
Река Кубань, станицы Марьянская  
и Новомышастовская,  
Краснодарский край



Снимок IRS-1C LISS/PAN,  
синтез RGB LISS3:PAN:LISS1.  
Пространственное разрешение  
приведено к 6 м.  
Дата съемки: 31 августа 2002 г.  
Станица Новоминская,  
Краснодарский край

©ANTRIX, Space Imaging Inc.,  
ИТЦ СканЭкс, 2002 г.





Снимок IRS-1D LISS/PAN, синтез RGB LISS3: PAN:LISS1. Пространственное разрешение приведено к 6 м.  
Дата съемки: 24 сентября 2002 г. Сбор урожая на юге Оренбургской области.

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.

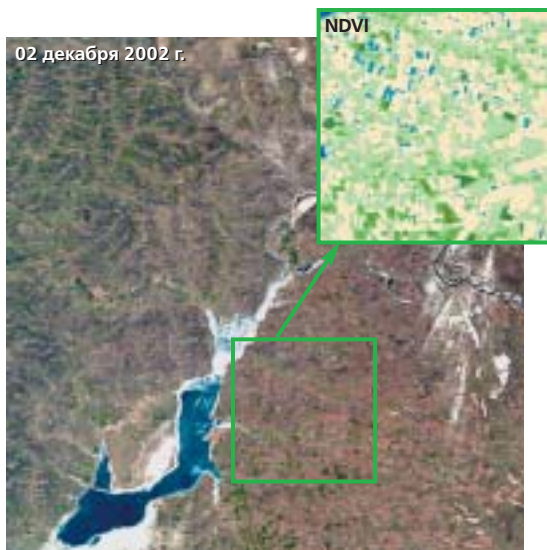
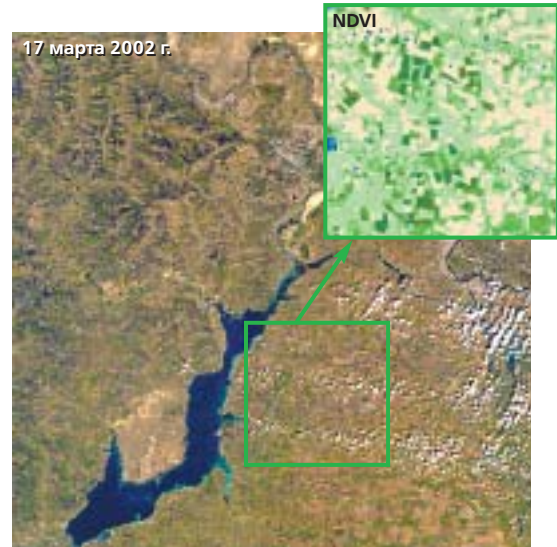


С помощью спутникового мониторинга возможно контролировать сроки и качество проведения основных агротехнических работ и тем самым оптимизировать управление сельскохозяйственным производством.

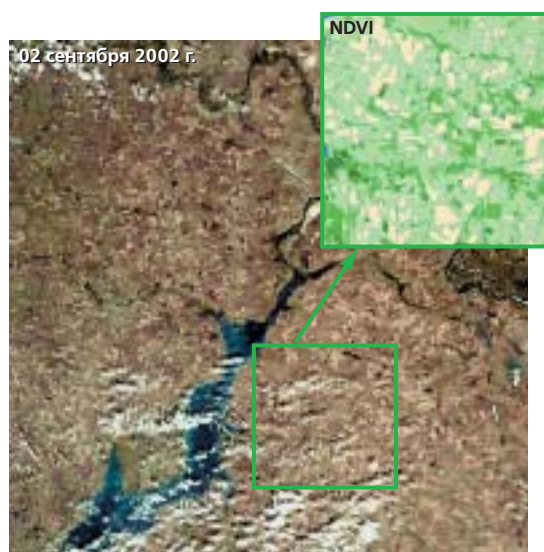
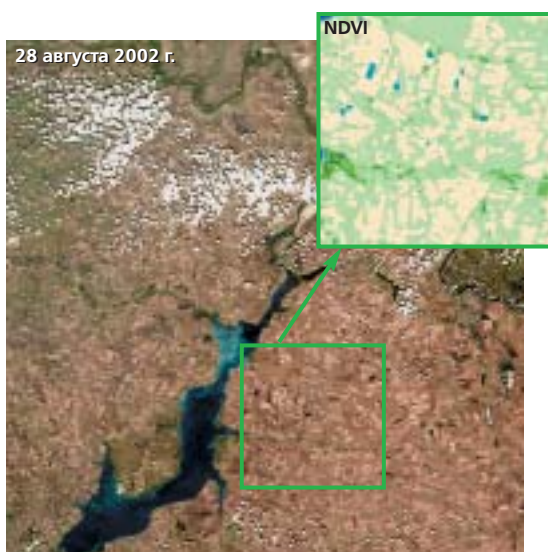
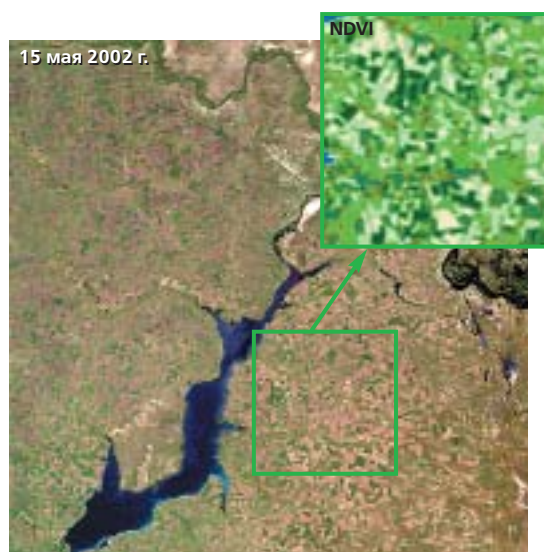
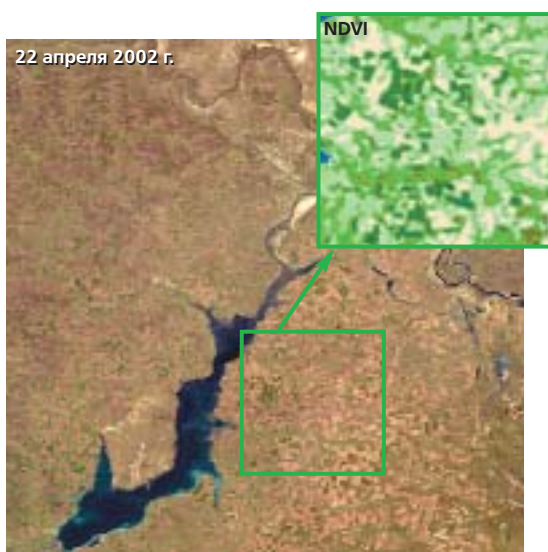


**Мониторинг сельскохозяйственных угодий. Оценка количества зеленой фитомассы на основе расчета вегетационных индексов NDVI по космическим снимкам Terra MODIS**

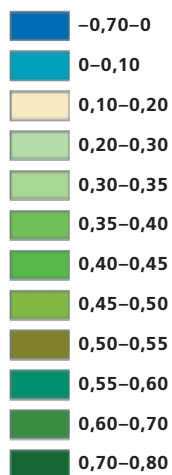
**Район Цимлянского водохранилища, Волгоградская и Ростовская обл.**







## Значения NDVI



Снимки Terra MODIS,  
синтез RGB 2:1:4.  
Пространственное разрешение  
1 и 2 канала — 250 м,  
4 канала — 500 м

*Примечание: для зимних  
снимков, полученных в период  
присутствия снежного покрова,  
карты NDVI не приводятся.*

**Мониторинг сельскохозяйственных угодий****Фатежский район Курской области**

Снимок IRS-1D LISS/PAN,  
синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение  
приведено к 5,8 м.

Дата съемки: 23 мая 2002 г.

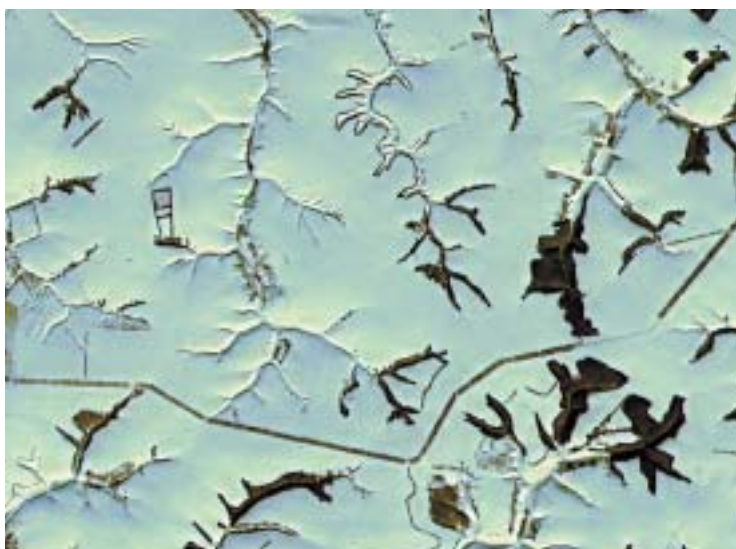
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.



Снимок IRS-1D LISS/PAN,  
синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение  
приведено к 5,8 м.

Дата съемки: 30 августа 2002 г.

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.



Снимок IRS-1D LISS/PAN,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение  
приведено к 5,8 м.

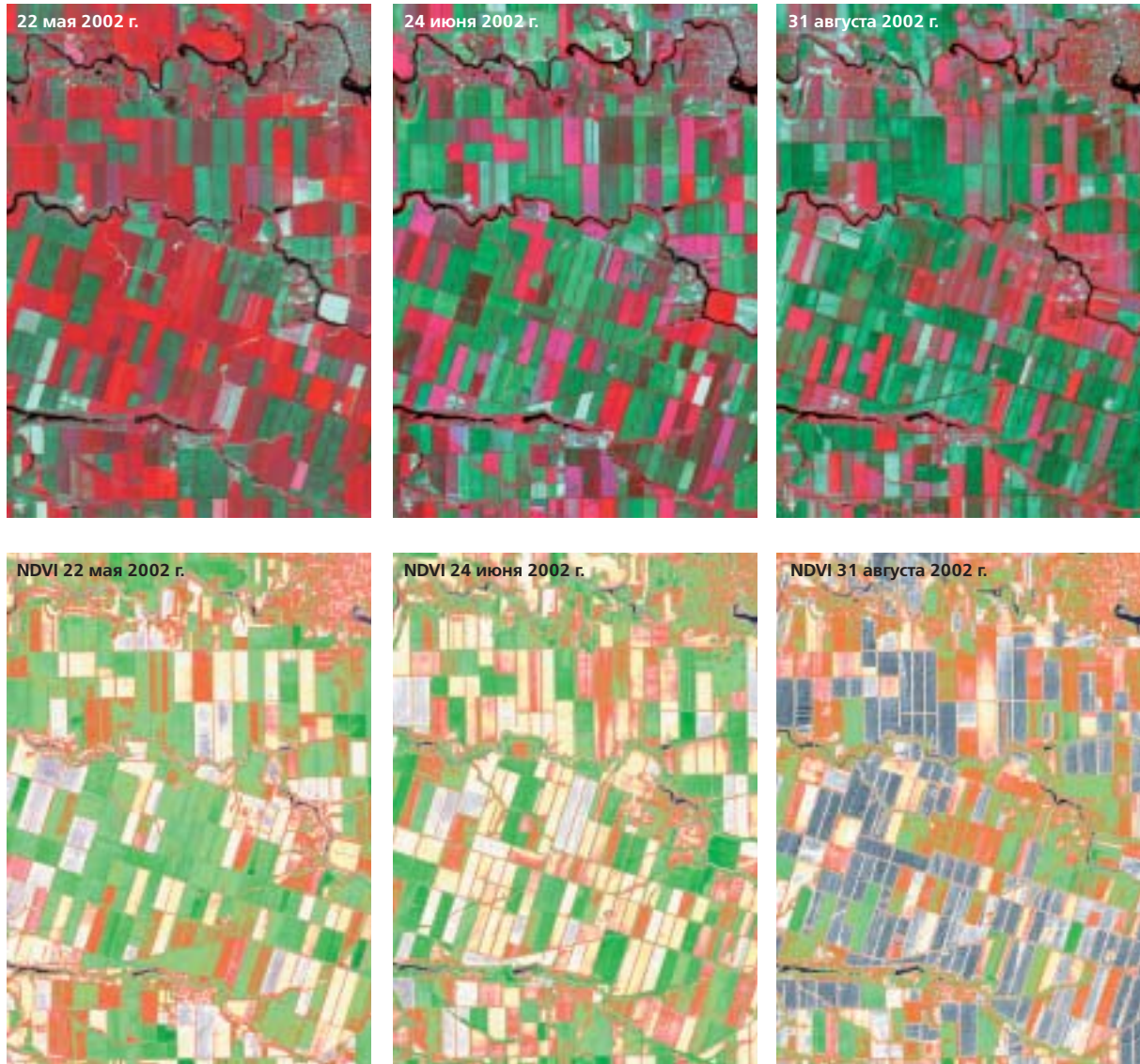
Дата съемки: 22 февраля 2003 г.

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.



## Оценка состояния растительности по космическим снимкам IRS LISS

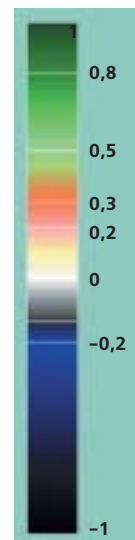
## Каневский район Краснодарского края



©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.

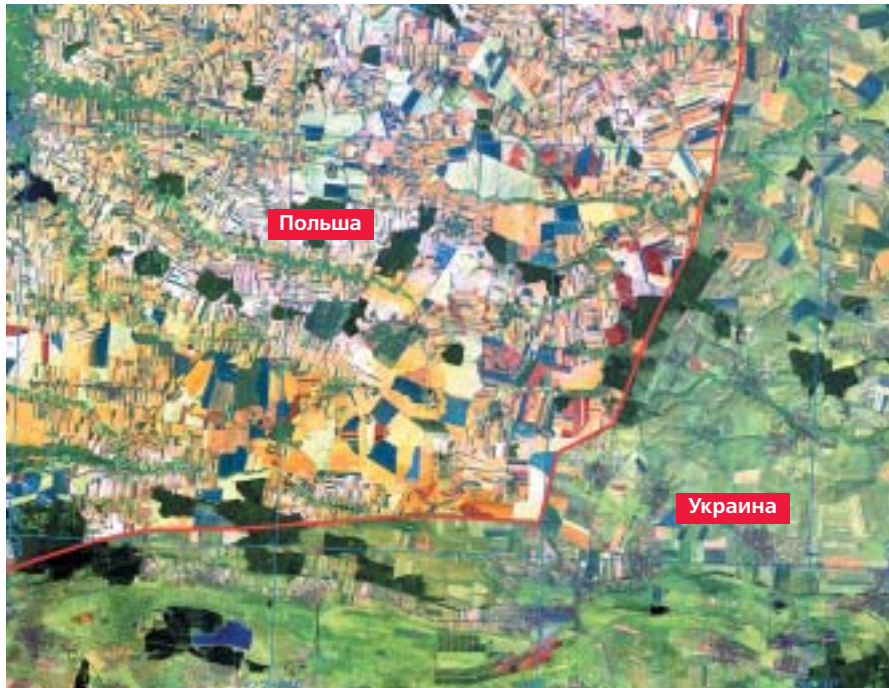
В течение сезона вегетации отражающая способность растительности меняется в красном и ближнем инфракрасном каналах и зависит от многих факторов, в том числе от количества зеленой фитомассы и густоты растительного покрова. Вегетационный индекс NDVI позволяет частично компенсировать разные условия визирования со спутника для серии снимков и оценить изменение количества зеленой фитомассы в течение сезона. На картах NDVI участки с различным состоянием растительности или объемом фитомассы изображаются различными цветами. Как правило, используется шкала, показывающая значения в диапазоне от  $-1$  до  $1$ . При этом цветовая палитра NDVI может быть произвольной, как показано выше на примере последовательных карт NDVI Каневского района Краснодарского края. Водная поверхность имеет отрицательное значение NDVI (в данном примере черные и синие тона), обнаженная почва без растительности и различные породы дают значения NDVI около нуля (белый и серый тон). По мере возрастания густоты растительности растут значения NDVI (красные и зеленые тона).

Целесообразно в процессе мониторинга создавать архив еженедельных карт значений NDVI на район наблюдений. С его помощью становится возможным получение текущих оценок объемов зеленой фитомассы относительно средних многолетних значений, типичных для данного места в данную неделю. Эта информация может использоваться для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур, пастбищ и прогнозной оценки их продуктивности. При помощи статистической обработки карт NDVI возможно также картографирование площадей распространения различных культур.





### Примеры космических снимков зарубежных сельскохозяйственных территорий



Снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 7:5:2. Пространственное разрешение 30 м. Дата съемки: 28 августа 2002 г. Красной линией показана государственная граница.

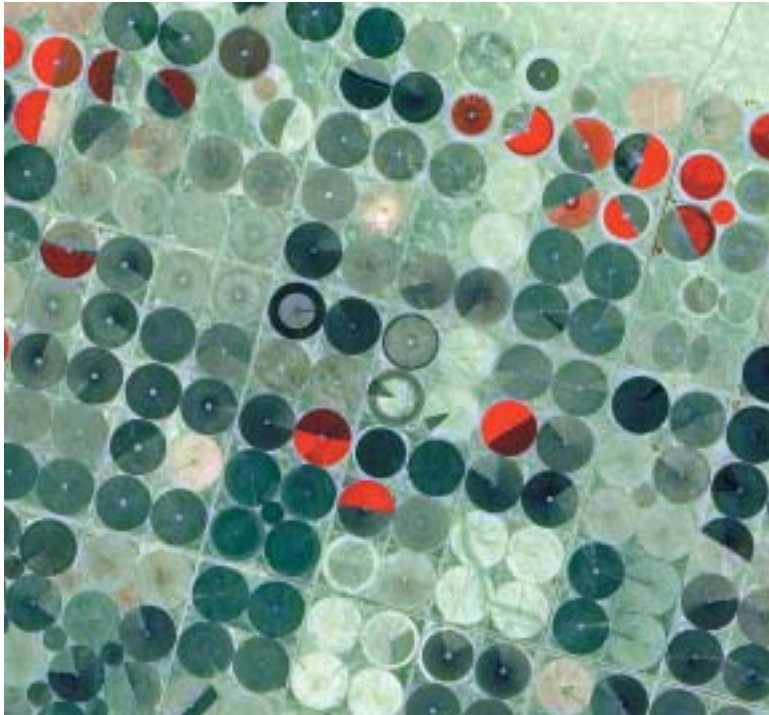
На данном примере видно, как заметно отличаются сельскохозяйственные районы двух сопредельных стран. В Польше распространены малоземельные (до 5 га) хозяйства, а для Украины характерны крупные поля.



Снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 3:2:1. Пространственное разрешение 30 м. Дата съемки: 12 сентября 1999 г. Сельскохозяйственный район Сербии. Зерновые хозяйства.

Нарезка полей характерна для холмистого рельефа.





Снимок IRS-1C LISS/PAN, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение  
приведено к 6 м.  
Дата съемки: 7 декабря 2001 г.  
Саудовская Аравия.

©Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2001 г.

Сельское хозяйство в пустынях полностью базируется на искусственном орошении, которое, в свою очередь, основывается на работе водоопреснительных установок и насосных станций. Выращиваются в основном пшеница и овощи. Для защиты от солнца используется пленка. В данном варианте синтеза красный цвет соответствует растительности, которая группируется вокруг оросительных установок.

Перспективный  
аэрофотоснимок, 2000 г.

Снимок Landsat 7 ETM+,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 30 м.  
Дата съемки: 7 декабря 2000 г.



На снимках представлены новые сельскохозяйственные поселения к востоку от Санта-Круз (Боливия), возникшие в середине 80-х годов на месте тропических сухих листопадных лесов в результате переселения людей с Альтиплано (андийские высокогорные равнины) и начала крупного проекта по сельскохозяйственному развитию.

Создание полей радиальной или секторной формы является частью программы по переселению. В середине каждого территориального образования есть маленький общественный центр, в котором обычно находятся церковь, бар/кафе, школа и футбольное поле. Прямолинейные, ярко окрашенные площади — это поля бобов сои, выращиваемых на экспорт. Вокруг сельскохозяйственных угодий — лесозащитные комплексы, предназначенные для предотвращения дефляции почв с легким механическим составом.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Роль леса в жизни нашей страны трудно переоценить. Леса дают людям чистый воздух, чистую воду, грибы, ягоды, служат местом отдыха, защищают прилегающие поля от засух и ветров. Лес — богатейший источник ресурсов для производства бумаги, строительных материалов, продуктов лесохимии, мебели и лекарств. В задачи лесного хозяйства как важнейшей отрасли экономики входят учет лесных ресурсов, сохранение всех полезных свойств леса, рациональная эксплуатация, охрана и восстановление лесов. Выполнение этих задач невозможно без получения полной и объективной информации о состоянии лесных массивов на разных уровнях управления лесами — от лесничества до федерального органа управления лесным хозяйством.

### **Использование космических снимков при учете лесного фонда, для целей лесоустройства и мониторинга**

Одной из важнейших задач лесного хозяйства является государственный учет лесов. Данные такого учета используются при организации и ведении работ на лесных участках, при переводе земель лесного фонда в земли других категорий, при регистрации прав на лесные участки. Во всех указанных случаях потребители информации требуют предоставления объективных и самых последних данных об объектах лесного фонда, тогда как лесоустройство в лесах России ранее проводилось с интервалом 10–20 лет (сейчас оно во многих районах все больше отстает от этих сроков). В сложившихся обстоятельствах наиболее эффективным способом обновления данных о состоянии лесов является космическая съемка.

Основные преимущества космической съемки перед традиционной аэрофотосъемкой лесов заключаются в следующем:

- возможность оперативного получения информации в течение нескольких дней (или даже часов). Такая оперативность необходима, в частности, при контроле за очагами развития лесных вредителей для своевременного проведения истребительных мероприятий;
- доступность снимков на разные даты в течение нескольких лет, что обеспечивается автоматическим непрерывным «сбросом» снимков со спутников и их хранением в базе данных. Особую ценность при дешифрировании представляют зимние, летние и осенние цветные снимки одной и той же лесной территории;
- доступность снимков разного масштаба и разного пространственного разрешения сразу в цифровом формате, геопривязанных и приведенных к стандартной картографической проекции. Такие характеристики позволяют быстро «подключать» снимки к лесохозяйственным ГИС и базам данных;
- возможность бесплатного получения обзорных снимков низкого разрешения и невысокий уровень цен на снимки высокого разрешения вплоть до масштаба 1:25 000.

В последнее время рынок космических снимков выгодно отличают снижение цен, обеспечение доступа к снимкам среднего и высокого разрешения сразу с нескольких спутников и несекретность, тогда как высокая стоимость аэрофотосъемки вынуждает лесоустройство заказывать снимки масштаба 1:40 000 (и даже 1:60 000) вместо необходимых снимков масштаба 1:10 000.

Действующая Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России (1994 г.) предусматривает применение космических снимков при решении широкого круга задач, особенно при устройстве малоосвоенных лесов северных и восточных регионов России. За прошедшие 10 лет существенно возросли как технические возможности съемочной аппаратуры, так и возможности дешифрирования в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Все это позволяет эффективно использовать данные съемок из космоса — в том числе при организации непрерывного лесоустройства с ежегодным внесением изменений в данные государственного учета лесов.

Наибольший эффект применение космических снимков дает при решении таких задач, как:

- определение площадей и территориального размещения лесных массивов;
- определение породного состава лесов;
- выявление спелых и перестойных насаждений;
- контроль за лесовозобновлением на вырубленных участках, на гарях и ветровалах;
- контроль за состоянием полезащитных лесных полос в южных регионах;
- мониторинг очагов усыхания от вредителей и болезней.

### **Актуализация лесных карт и выявление очагов усыхания**

Результат обновления (актуализации) лесных карт с применением космических снимков показан на примере Костомукшского леспромхоза (Карелия). На рисунках (стр. 37) представлены: фрагмент плана лесонасаждений по данным лесоустройства 1990 г., космический снимок 2002 г. и актуальная карта 2002 г., полученная в результате дешифрирования. В работе применялись снимки с пространственным разрешением 23 м со спутника IRS-1D. На первом этапе границы лесопокрытой площади уточнялись по зимним снимкам, где сенокосы и вырубки, покрытые снегом, легко отделяются от лесных насаждений. На втором этапе по летним многозональным снимкам с использованием инфракрасного канала выделялись болота, дороги и гари. На третьем этапе по летним и осенним снимкам выделялись участки леса с различным породным и возрастным составом. В качестве эталонных участков для обучения брались характерные выделы с таксационной карты 1990 г. В результате автоматизированного дешифрирования космического снимка была получена актуальная карта лесонасаждений Костомукшского леспромхоза по состоянию на 2002 г.

Наилучшие результаты при ведении непрерывного лесоустройства с помощью ГИС дает совместное применение данных базового лесоустройства, актуальных космических снимков и материалов лесхозов по текущей хозяйственной деятельности.

Выявление очагов усыхания от вредителей и болезней показано на примере очагов короеда типографа в зоне смешанных лесов центра Русской равнины (стр. 41). Катастрофическая по своим масштабам вспышка численности короеда (1999–2003 гг.) только в Московской области привела к гибели около 5 тыс. га спелых и перестойных ельников. В настоящее время во многих водоохранных и рекреационных лесах региона достаточно остро стоит вопрос о проведении санитарных и лесовосстановительных рубок с минимальным ущербом для целевых функций этих лесов.

## Контроль за соблюдением правил рубок леса

### Контроль сплошных рубок на официально разрабатываемых участках

Основным видом рубок в России (примерно три четверти от общего объема) являются сплошные рубки. Правила проведения рубок подробно регламентированы с учетом лесоводственных свойств древесных пород, лесохозяйственных районов и деления лесов на группы. Максимальный размер лесосек, установленный в настоящее время, составляет от 2,5 га (в семенных дубравах южной части страны) до 50 га (в хвойных лесах северных регионов).

При проведении рубок должно обеспечиваться своевременное возобновление леса. Для этого новые лесосеки можно располагать сторонами вплотную к вырубленным участкам лишь через несколько лет (от 2 до 8 – так называемый срок примыкания), но допускается касание лесосек своими углами в один и тот же год. Поэтому в местах массовых рубок лесосеки часто располагаются подобно клеточкам шахматной доски.

Применение снимков из космоса позволяет быстро и эффективно контролировать виды рубок (выборочные, постепенные, сплошные), площади вырубок, размещение лесовозных дорог, волоков и погрузочных площадок в соответствии с технологической картой разработки лесосеки, выявлять недорубы и перерубы. Участки крупных сплошных вырубок надежно выявляются на космических снимках с разрешением 30–45 м (TM, ETM+, MСУ-Э). Магистральные волоки, погрузочные площадки, а также участки выборочных рубок видны на снимках с разрешением 6–15 м (IRS, ASTER). «Подключение» снимков к лесохозяйственным ГИС дает возможность в полуавтоматическом режиме выявлять нарушения размеров и направления лесосек, правил примыкания делянок.

При необходимости оперативную информацию о ходе и соблюдении правил рубок могут одновременно (и независимо) получать:

- руководство компаний-лесозаготовителей;
- ответственные лесхозы;
- органы управления лесным хозяйством субъектов РФ;
- федеральный орган по управлению лесным хозяйством;
- контрольные органы Министерства по природным ресурсам;
- общественные природоохранные организации.



### **Обнаружение незаконных рубок**

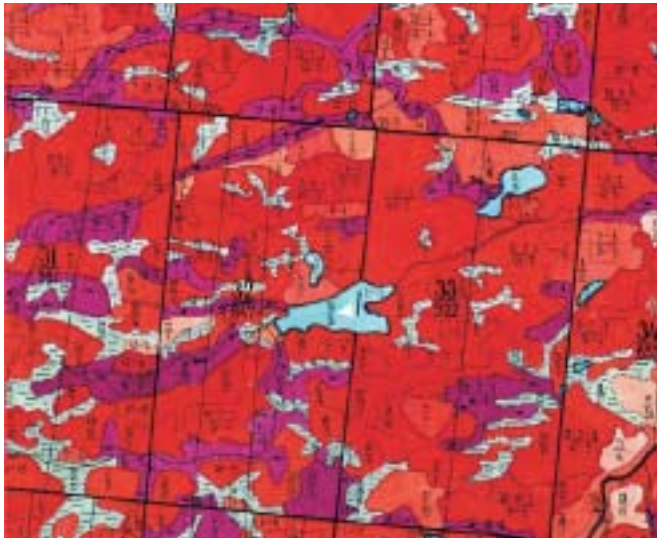
Огромный ущерб лесам и экономике России причиняется незаконными порубками леса. По официальным данным, ущерб, причиненный лесному фонду незаконными порубками, составил в 2002 г. 5,5 млрд. руб. В последнее время незаконная заготовка древесины стала осуществляться мобильными группами лесонарушителей, оснащенными современной лесозаготовительной техникой, радиосвязью и оружием.

В борьбе с незаконными рубками решающее значение имеет их оперативное обнаружение. Многие незаконные сплошные рубки могут быть выявлены при сравнении материалов отводов с данными космической съемки, сделанной за год до рубки и к моменту проверки. При этом для выявления большинства рубок и грубой оценки их площади достаточно снимков с разрешением даже 250 м (Terra MODIS). Таким образом, оперативная информация, получаемая с космических спутников, позволяет вовремя выявить случаи нарушений без привлечения дорогостоящих вертолетных облетов.

### **Рубки в местах, запрещенных законодательством**

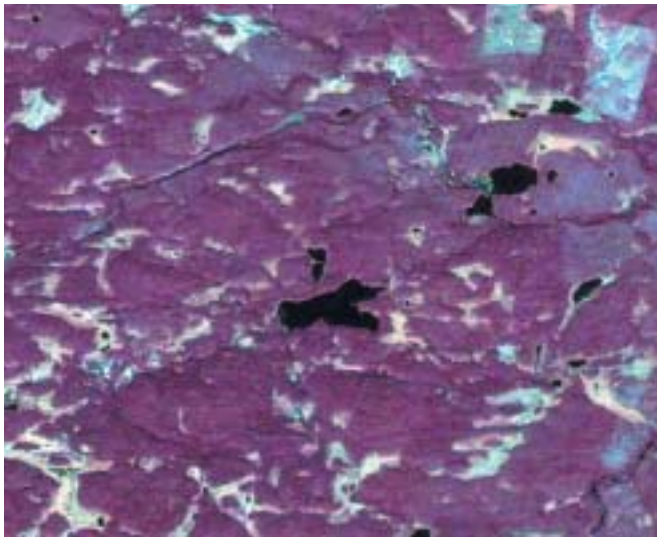
Наличие официальных разрешительных документов на проведение рубки не всегда означает законность рубки как таковой. Примерами такого рода рубок являются многие сплошные рубки в водоохранной зоне рек и озер, а также на охраняемых природных территориях (государственные природные заповедники, национальные парки, заповедные лесные участки, заказники со строгим режимом). Использование космических снимков позволяет органам охраны природы и общественным природоохранным организациям контролировать соблюдение установленных границ водоохранных зон, а также выявлять незаконные порубки на особо охраняемых природных территориях.

## Обновление карт лесной таксации

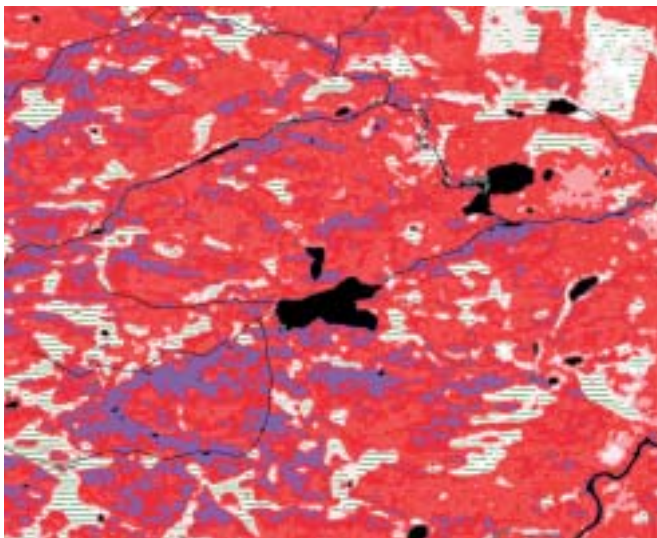


Фрагмент плана лесонасаждений  
Ладвозерского лесничества Костомукшского  
комплексного леспромхоза (Карелия).  
Лесоустройство 1990 г.

- спелые и перестойные ельники
- спелые и перестойные сосняки
- приспевающие сосняки
- средневозрастные сосняки
- сосновые молодняки



Фрагмент космического снимка IRS-1D LISS,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 23 м.  
Дата съемки: 15 мая 2002 г.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2004 г.



Результат автоматизированной обработки  
снимка IRS. Полученная карта распределения  
лесов по преобладающим породам и группам  
возраста может служить основой для обновления  
данных таксации.

- спелые и перестойные ельники
- спелые и перестойные сосняки
- приспевающие и средневозрастные сосняки
- сосновые молодняки



10 0 10 20 км

## Мониторинг лесных площадей в районах интенсивных сплошных промышленных рубок

Рубки и восстановление леса. Пинежский район Архангельской области



Снимок Landsat 5 TM,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 30 м.  
Дата съемки: 04 июня 1986 г.

 свежие вырубki  
 зарастающие вырубki

Снимок Landsat 7 ETM+,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 30 м.  
Дата съемки: 21 июня 2001 г.



Снимок Метеор-3М МСУ-Э,  
синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение 45 м.  
Дата съемки: 02 августа 2003 г.

10 0 10 20 км





Рубки и восстановление леса. Холмогорский район Архангельской области



Снимок Landsat 5 TM, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 30 м.  
Дата съемки: 04 июня 1986 г.



Снимок Landsat 4 TM, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 30 м.  
Дата съемки: 08 июня 1988 г.



Снимок Ресурс 01 МСУ-Э, синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение 45 м.  
Дата съемки: 29 июня 1997 г.



Снимок Ресурс 01 МСУ-Э, синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение 45 м.  
Дата съемки: 02 августа 1999 г.



Снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 30 м.  
Дата съемки: 21 июня 2001 г.



Снимок IRS-1D LISS, синтез в «натуральных» цветах.  
Пространственное разрешение 23 м.  
Дата съемки: 31 марта 2004 г.

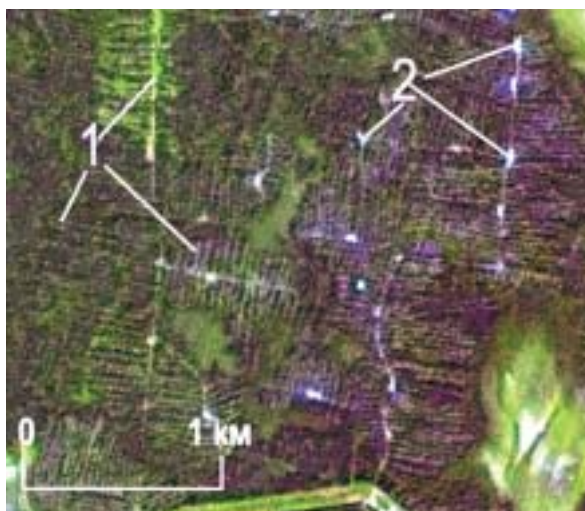
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2004 г.





## Дешифрирование рубок по космическим снимкам

## Выборочные рубки



Снимок IRS-1D LISS/PAN, синтез в «натуральных» цветах

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2004 г.

Участок выборочных рубок. Хорошо просматриваются пасечные и магистральные волоки (1) и погрузочные площадки (2). Выборочные рубки можно увидеть только на снимках пространственного разрешения свыше 10–15 м.



Снимок IRS-1D LISS/PAN, синтез в «натуральных» цветах

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2004 г.

Участки выборочных рубок. У дороги видны трелевочные волоки (1) и погрузочные площадки (2). Хорошо выделяются сплошная вырубка в водоохранной зоне (3) и гарь (4).

## Рубки в водоохранной зоне



Снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 3:2:1

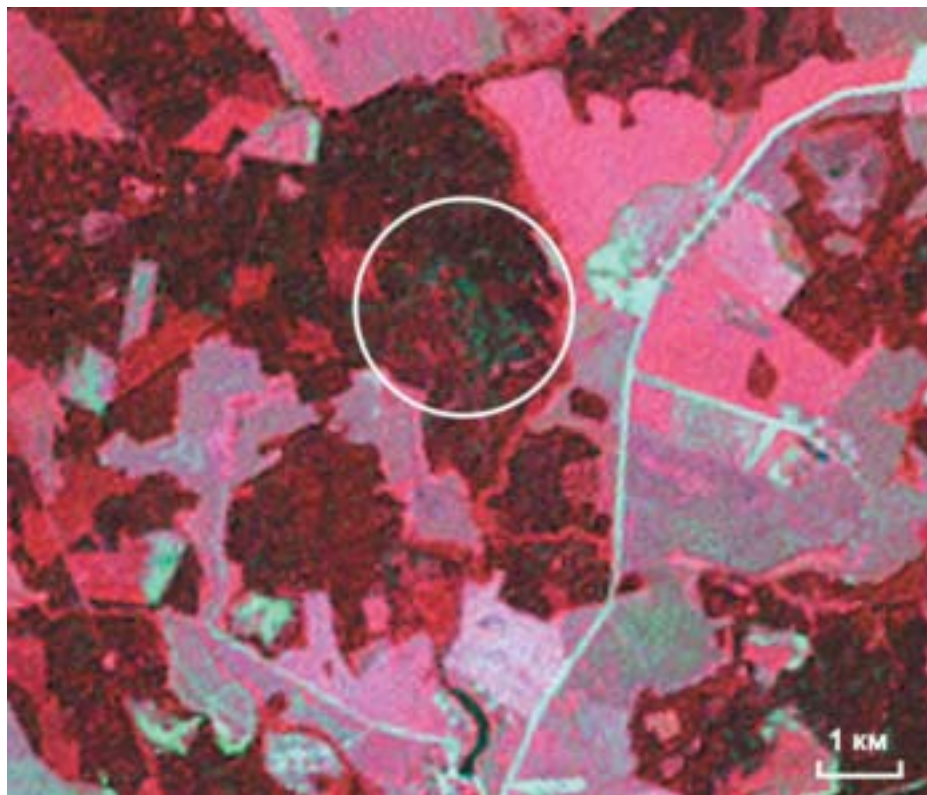
Пример недопустимых сплошных рубок в водоохранной зоне (1). В водоохранных зонах вдоль рек, озер и водохранилищ вводятся существенные ограничения на лесохозяйственную деятельность. Здесь разрешаются только санитарные рубки и рубки ухода.



Снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 3:2:1

Пример недопустимых сплошных рубок в водоохранной зоне (1). Минимальная ширина водоохранной зоны устанавливается для участков рек протяженностью от их истока: от 10 до 50 км – 100 м; от 50 до 100 км – 200 м; от 100 до 200 км – 300 м; от 200 до 500 км – 400 м; от 500 км и более – 500 м.

## Выявление очагов усыхания ельников



Фрагмент снимка Landsat 7 (ETM+), синтез RGB 4:3:3. Пространственное разрешение 30 м. Дата съемки: 21 июля 2001 г. Очаги усыхания ельников в результате вспышки размножения короеда типографа (Рузский район Московской области).

Очаги усыхания в данном синтезе выявляются по серо-зеленому цвету.



Участок погибшего елового леса после вспышки короеда типографа.

Фото А. Маслова, 2002 г.

## МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ И ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ

Лесные и торфяные пожары – опасные природные явления, в ходе которых повреждаются или гибнут лесные насаждения, страдают лесные поселки, погибают люди. В 2002 г. на охраняемой территории лесного фонда России пожарами пройдено 1330 тыс. га лесных земель. В связи с угрозой потепления климата из-за выбросов углерода в атмосферу Земли, проблема лесных пожаров вышла за рамки узкой проблемы лесного хозяйства и стала частью глобальной экологической проблемы.

Лесным законодательством Российской Федерации установлено, что все леса подлежат охране от пожаров. Обнаружение пожаров осуществляется наземными и авиационными методами. По официальным данным, под охраной наземных служб находятся 27% площади лесного фонда; служба авиалесоохраны охраняет площадь около 47%. Неохраняемая в настоящее время часть лесов составляет более 300 млн. га, или 26% площади лесного фонда, на которой контроль за лесопожарной обстановкой осуществляется только по снимкам со спутников.

На территории европейской части России эффективность обнаружения лесных и торфяных пожаров с помощью спутников особенно ярко проявилась в год экстремальной засухи 2002 г. С марта по сентябрь в Московской области выпало всего 150 мм осадков при норме в 430 мм. Многочисленные очаги возгорания лесов и торфяников возникли на севере и востоке области.

На снимках высокого разрешения Landsat 7 ETM+ (стр. 45, 46) показаны восточные районы Московской области в момент интенсивных пожаров августа–сентября 2002 г. Синтез каналов ближнего инфракрасного спектра позволяет выявить очаги возгораний даже под облаками дыма, а использование теплового инфракрасного канала – получать контуры подземных торфяных пожаров при отсутствии очагов открытого пламени.

Совмещение снимков до и после пожаров дает возможность выявить гари, определить их площади на текущий год и оценить ущерб, нанесенный лесному хозяйству. На снимке со спутника IRS (стр. 46) гари прошлого года после верховых и устойчивых низовых пожаров (с выгоранием подстилки, подроста и подлеска) выделяются по темно-серому и темному тону.

Возможность ликвидации пожара на малой площади, особенно в условиях высокой пожарной опасности, определяется оперативностью обнаружения и проведения «первоначальной атаки». Из опыта работы служб Авиалесоохраны известно, что при площади очага менее 5 га ликвидация низового пожара осуществляется с высокой надежностью. Такие пожары ликвидируются десантом из 4–6 человек. Площадь свыше 25 га для одного и даже двух десантов считается критической, и пожар зачастую выходит из-под контроля. Таким образом, наиболее полно требованиям оперативного

мониторинга лесных и торфяных пожаров соответствуют спутники с высоким радиометрическим разрешением и высокой периодичностью съемки (серии NOAA и EOS).

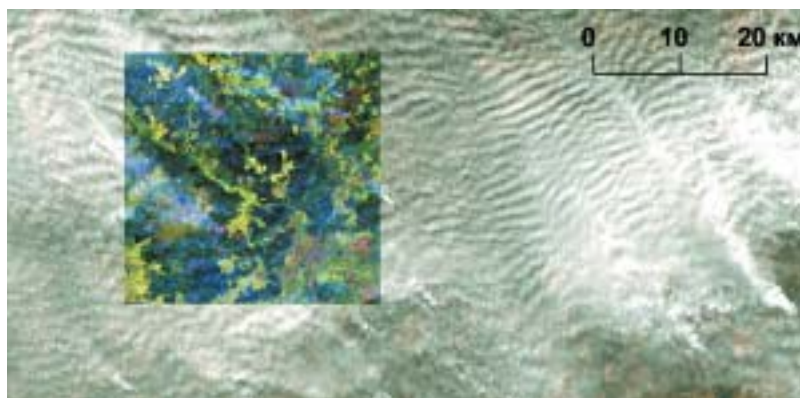
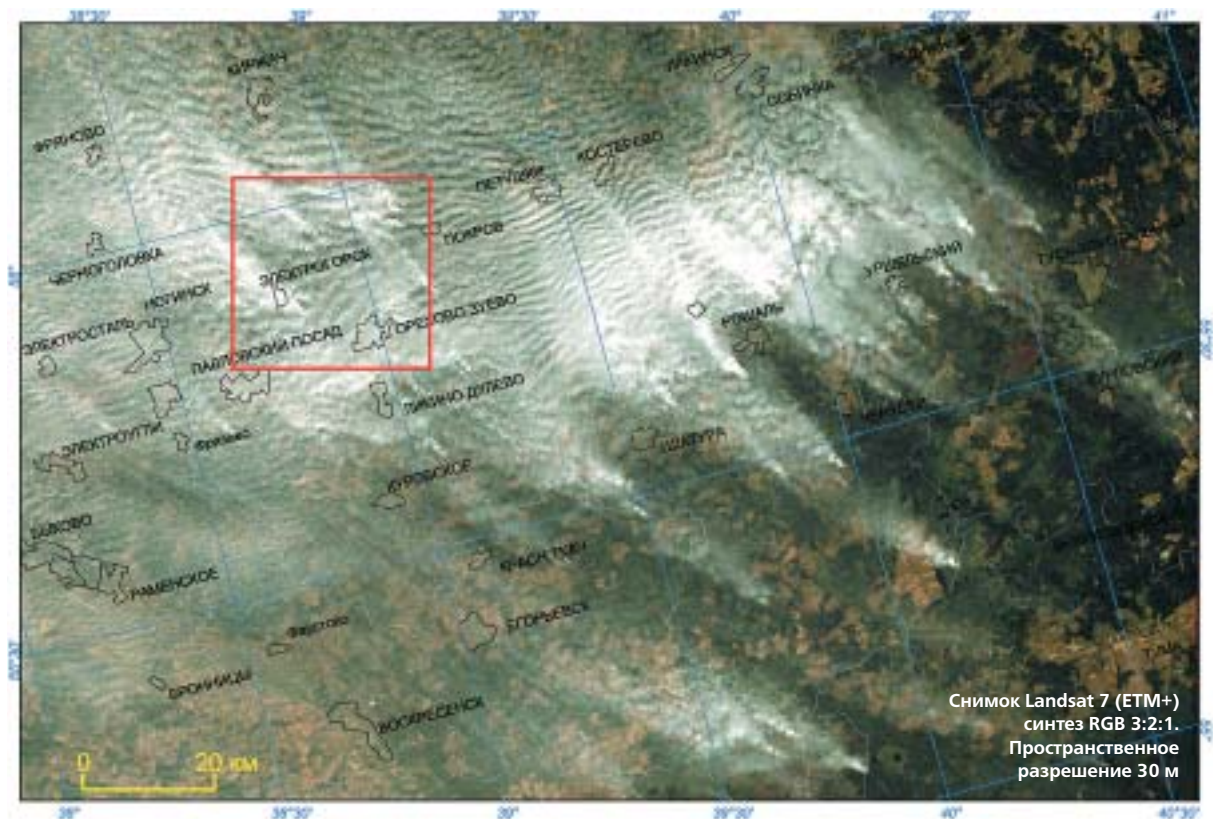
Спутники Terra и Aqua программы EOS (Earth Observation System), получением и распространением данных с которых занимается ИТЦ СканЭкс, имеют в составе бортового оборудования спектрорадиометр MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer). Тридцать шесть спектральных каналов охватывают диапазон с длинами волн от 0,4 до 14,4 мкм. При этом очаги возгорания можно дешифровать как визуально, так и, что более важно, автоматизированно, используя яркостные температуры тепловых каналов (стр. 47). Алгоритмы детектирования пожаров в автоматическом режиме основаны на значительной разнице температур земной поверхности (обычно не выше 10–25°C) и очага пожара (300–900°C). Почти 100-кратное различие в тепловом излучении объектов фиксируется на снимке, а информация, поступающая с других спектральных каналов, помогает отделить облака.

Информация MODIS передается на наземные станции непрерывно и бесплатно. Готовность данных — в течение часа после приема. Временное разрешение — 4 раза в сутки, ширина полосы обзора — 2300 км. Съемка тепловой аппаратурой спектрорадиометра MODIS с пространственным разрешением 1 км дает возможность выявить очаг пожара площадью от 1 га или подземный пожар площадью от 9 га. Таким образом, спутниковые данные являются существенным дополнением к традиционным методам обнаружения пожаров, а на неохранных Авиалесоохраной труднодоступных территориях — единственным методом мониторинга и оценки последствий лесных пожаров. Разработанная ИТЦ СканЭкс технология позволяет принимать информацию со спутников в любой локальной точке (вплоть до лесхоза) и вести мониторинг пожаров напрямую — независимо от работоспособности централизованной федеральной системы оповещения.

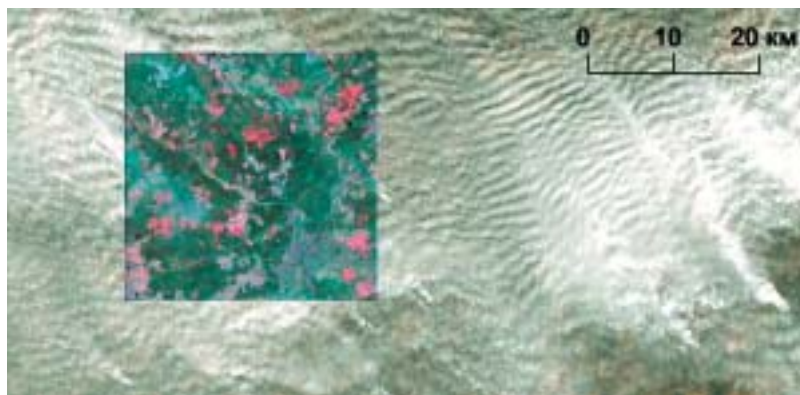


## Наблюдение за лесными пожарами по многозональным космическим снимкам высокого разрешения

Пожарная обстановка Московской области 5 сентября 2002 г.

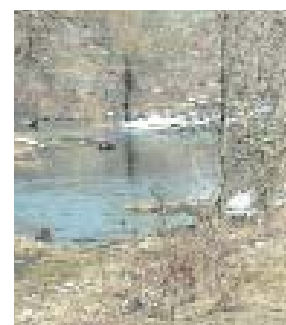
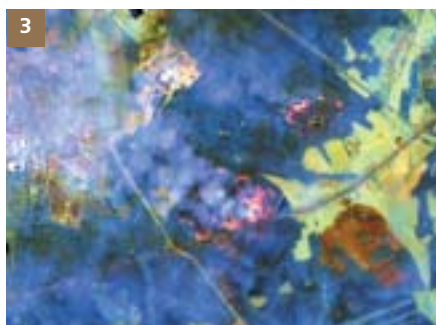


В области среднего и ближнего инфракрасного излучения дым почти прозрачен, что позволяет уменьшать задымленность на изображении, и тем самым облегчать географическую привязку крупных очагов пожара. Однако вместе с задымленностью перестают быть видны и мелкие очаги пожаров.



В области теплового излучения регистрируются температуры земной поверхности. На снимке разогретые территории выявляются по насыщенному красному цвету, что может быть эффективно использовано для обнаружения очагов пожара при отсутствии открытого огня (например, в тлеющих торфяниках).

### Наблюдения за лесными пожарами и оценка площадей гарей в засуху 2002 г. на востоке Московской области



Использованы фотографии с сайта <http://foto.pavlovskyyposad.ru>

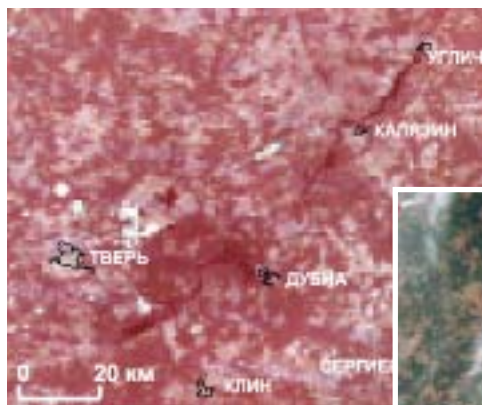
- 1** Состояние местности до пожаров 2002 г. — фрагмент снимка Landsat 7 (ETM+) от 7 июля 2001 г., синтез RGB 3:2:1.
- 2** Общий вид пожаров с дымовыми шлейфами — фрагмент снимка Landsat 7 (ETM+) от 5 сентября 2002 г., синтез RGB 3:2:1 (в видимом диапазоне).
- 3** Выявление лесных пожаров — фрагмент снимка Landsat 7 (ETM+) от 5 сентября 2002 г., синтез RGB 7:5:4 (в средней и ближней инфракрасной частях спектра).  
*Хорошо видны очаги открытого пламени.*
- 4** Выявление подземных торфяных пожаров — фрагмент снимка Landsat 7 (ETM+) от 5 сентября 2002 г., синтез RGB 6:5:7 (в тепловой, средней и ближней инфракрасной частях спектра).  
*Участки поверхности с высокой температурой в данном синтезе имеют ярко розовый цвет.*
- 5** Состояние местности после пожаров — фрагмент снимка IRS-1D (LISS/PAN) от 25 сентября 2002 г., синтез RGB 3:2:1.  
*В данном синтезе красный тон соответствует неповрежденной растительности, а свежие гари выделяются по серо-зеленому цвету.*  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.
- 6** Определение площади гарей — фрагмент топографической карты с нанесенными контурами свежих гарей 2002 г. по данным дистанционного зондирования.



## Оперативное обнаружение лесных пожаров по данным MODIS



Космический снимок западных районов европейской части России до проведения автоматизированного распознавания пожаров. Синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение 1 канала — 250 м, 3 и 4 каналов — 500 м. Дата съемки: 29 августа 2002 г.



Фрагмент космического снимка в дальней инфракрасной области излучения. Синтез RGB 31:23:21.

Пространственное разрешение 1000 м.

Разогретые участки земной поверхности дешифрируются по белому тону.



Фрагмент космического снимка в видимой области излучения после проведения автоматизированного распознавания пожаров. Синтез RGB 1:4:3.

Пространственное разрешение 250–500 м.

Красные точки — участки возгорания, выделенные алгоритмом автоматизированного распознавания пожаров



Пример оперативной карты очагов возгорания лесных территорий и торфяников на 8 ч. 34 мин. 29 августа 2002 г., которую возможно получить уже через 2 часа после приема снимков



## МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Для слежения за изменением ледовой обстановки в морях составляют ледовые карты. Важные преимущества космической съемки – повторяемость поступления информации и оперативность обработки – дают возможность фиксировать состояние быстро изменяющихся природных явлений на различные моменты времени. Автоматизированные технологии позволяют отличать льды от облаков и разделять лед по сплоченности. В результате по спутниковым данным создаются динамические карты ледовой обстановки в период навигации, а также в осенне-зимний и весенний периоды (наступление ледостава, очищение ото льда).

Среди ледовых карт, получаемых по космическим снимкам, выделяют:

- крупномасштабные карты и планы состояния ледового покрова масштаба 1:100 000 и крупнее на ограниченных территориях (в заливах, проливах, портах);
- оперативные ледовые карты масштаба 1:200 000–1:300 000;
- обзорные ледовые карты (среднемесячные, среднедекадные). Такие карты отображают состояние ледяного покрова на пространстве нескольких морей (соответствуют масштабу 1:7 500 000 и мельче). Они предназначаются для научного исследования, при разработке ледовых прогнозов;
- специальные карты, характеризующие режим льдов. К ним относятся карты вероятности преобладания льда того или иного возраста, карты среднего и экстремального положения кромок и границ льда, карты средней торосистости, карты разрушенности и т.д. На этих картах в обобщенном виде представляются результаты обработки первичных обзорных и оперативных ледовых карт.

### Ледовая обстановка в Карском море

Через Карское море проходит крупнейшая транспортная магистраль, связывающая западные и восточные регионы России – Северный морской путь. Эта транспортная артерия используется для перевозки минерального сырья из арктических регионов России. Доставка газа и нефти морским путем в перспективе может оказаться выгоднее строительства газо- и нефтепроводов. Поэтому транспортные артерии России привлекают внимание грузоперевозчиков во всем мире.

Главным препятствием для прохода судов является лед. Ледостав в Карском море начинается уже в середине октября. Образующиеся ледовые поля постоянно находятся в движении под действием ветра и течений. Наиболее тяжелые условия плавания складываются в так называемых ледяных массивах, которые не до конца разрушаются даже в самые теплые месяцы года. Проводка транспорта через эти массивы возможна только

с помощью ледоколов. Во время теплых зим ледовая обстановка в западной части Карского моря бывает благоприятна и позволяет проходить танкерам ледового класса без сопровождения ледоколами. От качества ледовых и синоптических прогнозов зависит правильная расстановка ледокольных и авиационных сил на трассе. Большой территориальный охват, единовременность космической информации позволяют эффективно использовать спутниковые данные для обеспечения навигации и круглогодичного плавания по Северному морскому пути.

В настоящее время средства дистанционного зондирования позволяют получать оперативную информацию о ледовой обстановке с периодичностью раз в несколько суток (с учетом облачности) и пространственным охватом территории 2 300 км (спутники Terra/Aqua, радиометр MODIS).

На снимках (стр. 54–55) представлены примеры наблюдений ледовой обстановки в западной части Карского моря за зиму–лето 2001 г. Хорошо виден процесс разрушения ледяного поля и вынос льда в открытое море.

### **Ледовая обстановка в Финском заливе**

Финский залив занимает 7% площади Балтийского моря. В суровые зимы ледовый покров в Финском заливе и Балтийском море позволяет пешком дойти от Санкт-Петербурга до Стокгольма. Во льдах Финского залива осуществляется ледокольная проводка караванов судов в порты Санкт-Петербурга, танкеров – в нефтеналивной порт Приморск. Поэтому важной задачей является постоянное слежение за ледовой обстановкой в акватории Финского залива в зимний период и во время весеннего таяния льдов. Типичны случаи, когда под действием ветров западных направлений сплоченность льда нарушается, появляются торосы и наслонения льда толщиной до 8–10 метров. При усилениях ветра возможны взломы неподвижного льда и отрывы от него отдельных льдин на границе неподвижного и дрейфующего льда, что создает дополнительные препятствия судоходству.

На космических снимках Финского залива (стр. 56–57) уверенно распознаются участки ровного льда, след от ледокольной проводки судов, нагромождения торосов, трещины в результате деформации льда, скопления дрейфующих льдов. Хорошо определяются положение кромки льда, крупные полыньи, нарушения зон сплоченности льда.

Синтезированные многозональные снимки незаменимы при дешифрировании льдов, находящихся на разных стадиях таяния (разрушенности) в весенний период. Так, в ближнем инфракрасном диапазоне тающий лед изображается более темными тонами, чем лед без признаков таяния. При этом, чем более лед водонасыщен, а следовательно, разрушен, тем разница в спектральной яркости больше. Поэтому при помощи космических снимков можно прогнозировать места разрушений льда и вовремя предупреждать любителей зимней рыбалки об опасности оказаться на дрейфующей льдине.

### **Оценка ледовой обстановки на реках для прогнозирования возникновения заторов льда**

На многих реках северного полушария, текущих с юга на север, во время весеннего вскрытия рек существует опасность образования скоплений льда в русле — ледяных заторов. Заторы льда уменьшают живое сечение реки и вызывают подъем уровня воды в месте скопления льда и на некотором участке выше него. Это часто приводит к наводнениям, а в заселенной местности — к большим экономическим потерям. Снимки из космоса позволяют специалистам произвести оценку состояния рек и водоемов в период вскрытия от льда, а также определить точное местонахождение и протяженность ледяных заторов.

При помощи космических снимков можно выявить места, благоприятные для образования заторов (стр. 58–59). Это крутые повороты русла в сочетании с сужением реки, участки разветвления русла с малой скоростью течения, впадения крупного притока, если этот приток вскрывается раньше основной реки, различные препятствия в русле (острова, конусы выноса) и др. Нередко затор возникает в тех местах, где осенью при замерзании реки имели место деформация льда и торошение. Поэтому спутниковая информация может быть использована также для прогнозирования заторов льда на реках, особенно в обширных труднодоступных районах.

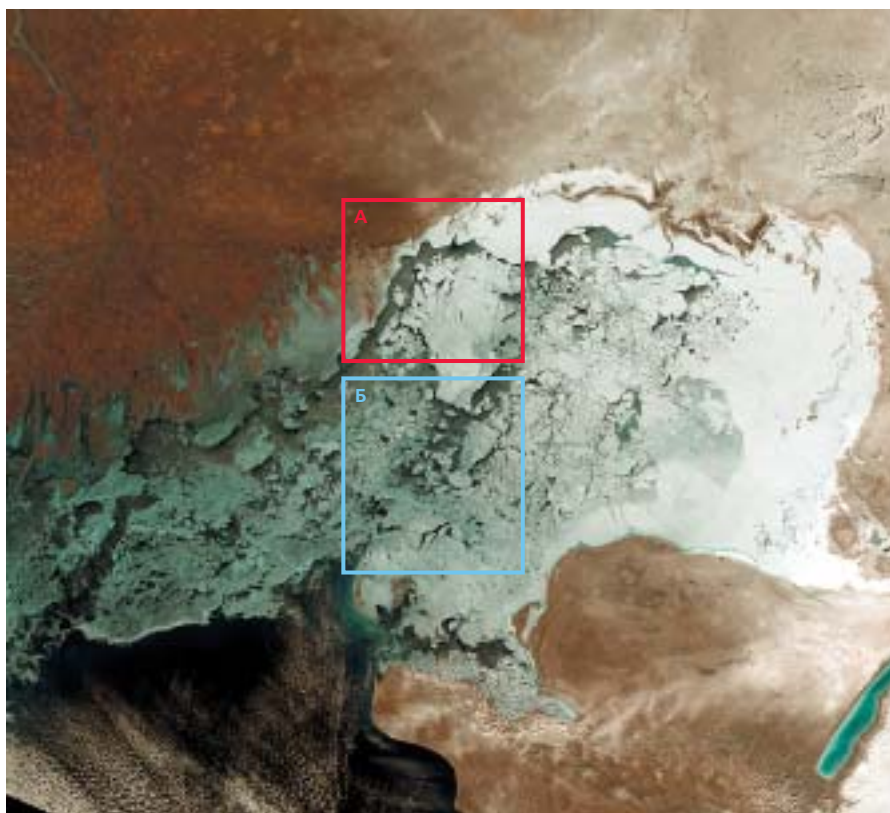
На приведенном примере от 17 мая 2003 г. (стр. 59) мы видим затороопасные участки в среднем течении реки Обь. За счет поступления из верхнего течения относительно теплой талой воды произошел распад ледяного покрова на отдельные массивы с полыньями на всю ширину реки. Расход воды в реке увеличился, что привело к вспучиванию отдельных участков льда и образованию участков деформированного ледяного покрова (наслоение, торошение). Анализ спутниковых данных может служить основанием для принятия мер по предупреждению ледяных заторов, а также для координации наземных наблюдений и авиаразведок.



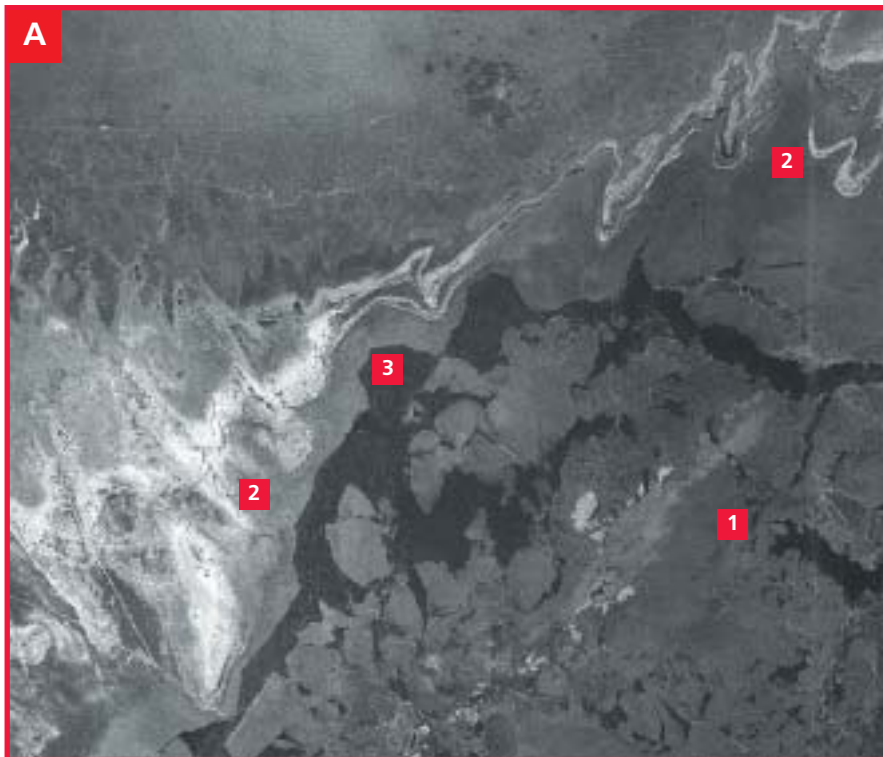
### Возможности радиолокационной съемки для мониторинга ледовой обстановки

Особо следует отметить возможности радиолокационной съемки для оперативного наблюдения за ледовой обстановкой, особенно в полярных и приполярных широтах. Важнейшим преимуществом по сравнению с оптическими съемочными системами является то, что радиолокационную съемку, например с канадского спутника RADARSAT-1 (стр. 53), можно проводить и днем, и ночью при любых погодных условиях: облака для такой съемки прозрачны. В условиях зимы с очень коротким световым днем и при продолжительных периодах непогоды радиолокационная съемка может быть единственной технологией для получения оперативной информации о состоянии земной поверхности. Зимой на севере, а также в умеренных и южных широтах типична ситуация, когда сплошная облачность держится неделю и более, что не позволяет вести съемку в оптическом диапазоне. Радиолокатор SAR на борту спутника RADARSAT-1 дает возможность получения изображений с разрешением 8, 25, 50 и 100 м. Области применения этих снимков включают обеспечение судоходства и наблюдение за ледовой обстановкой, оперативный мониторинг ледяного покрова, изучение береговой линии и др.

Радиус обзора одной станции приема снимков RADARSAT-1 около 2 000 км — этого вполне достаточно для покрытия территории, сопоставимой с бассейном р. Лены. Регулярный и всепогодный мониторинг ледовой ситуации на реке мог бы намного уменьшить последствия наводнения весной 2001 г. в городе Ленске, ущерб от которого оценен в 5,8 млрд. рублей.



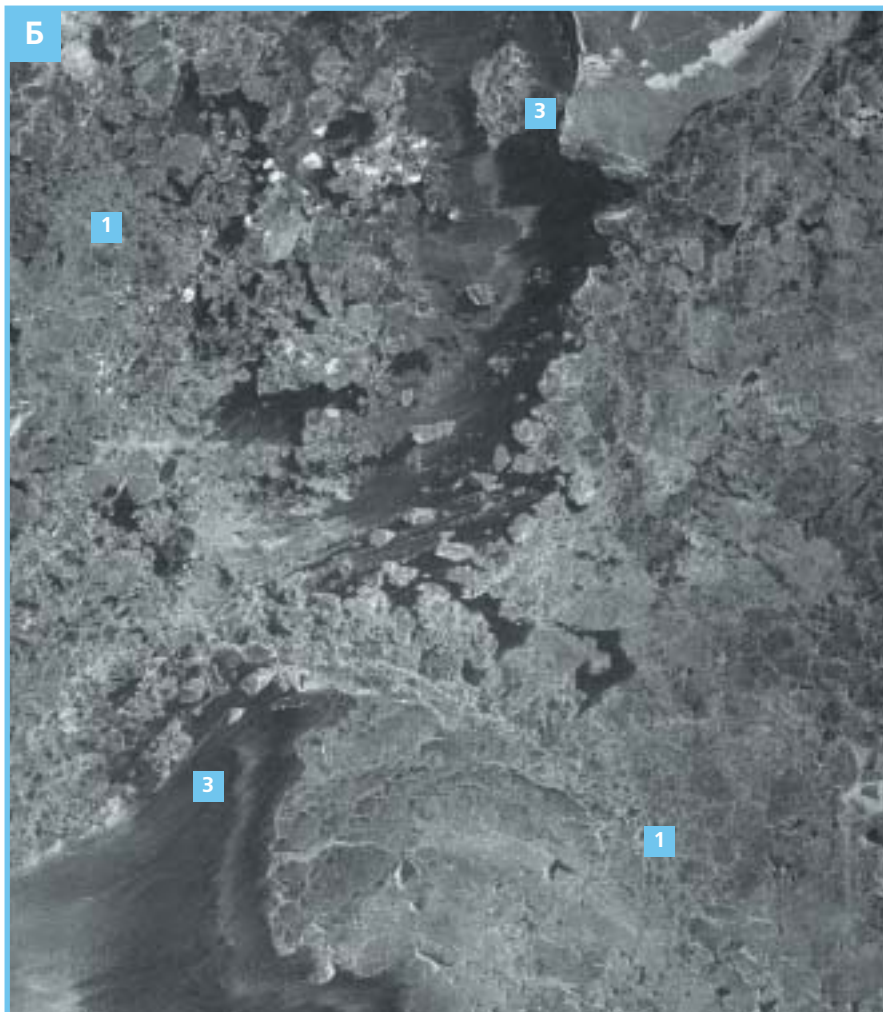
Снимок Terra MODIS,  
синтез RGB 2:1:4.  
Пространственное  
разрешение 250 м.  
Дата съемки: 10 января 2003 г.  
Северная часть  
Каспийского моря



Снимки RADARSAT-1, режим съемки Wide (широкополосный W3). Пространственное разрешение 30 м. Дата съемки: 13 января 2003 г.

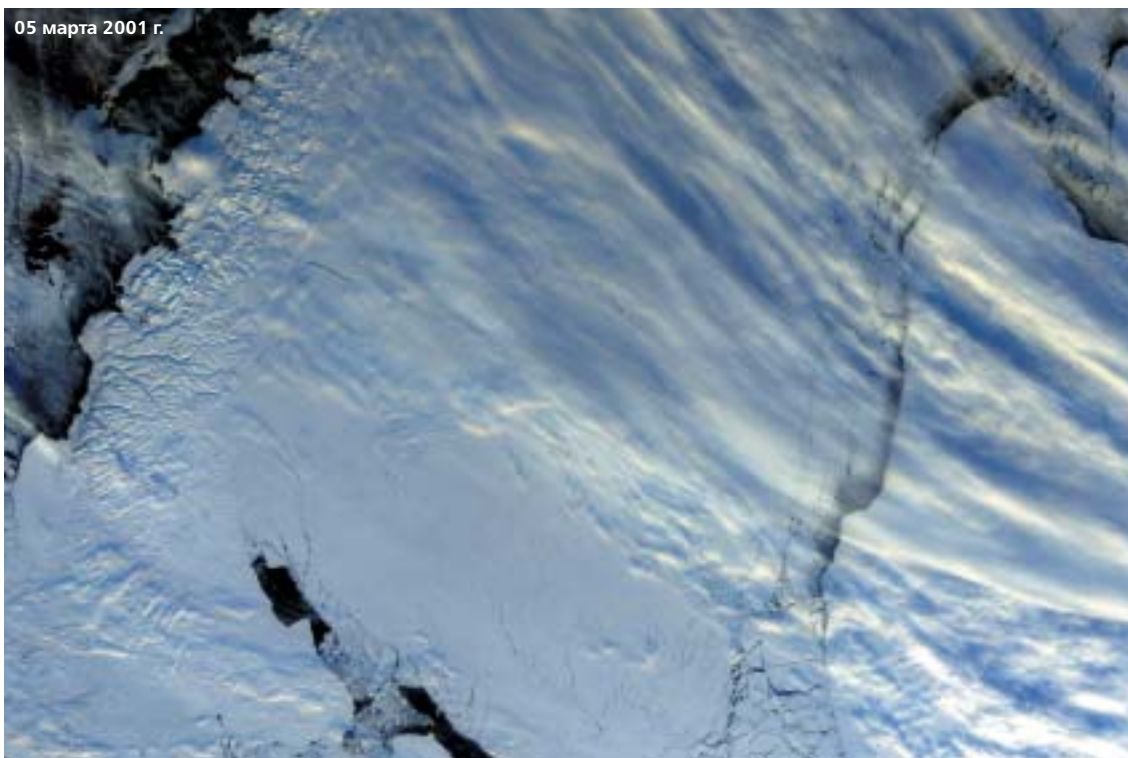
- 1 – ледяной покров, скопления дрейфующих льдов;
- 2 – припайный лед;
- 3 – пространства чистой воды среди льда.

Использование одних оптических данных недостаточно для регулярного мониторинга ледовой обстановки на северной акватории Каспийского моря из-за частой облачности. Радиолокационная съемка позволяет преодолеть это препятствие. Представленные снимки RADARSAT-1 приняты в условиях густой облачности.

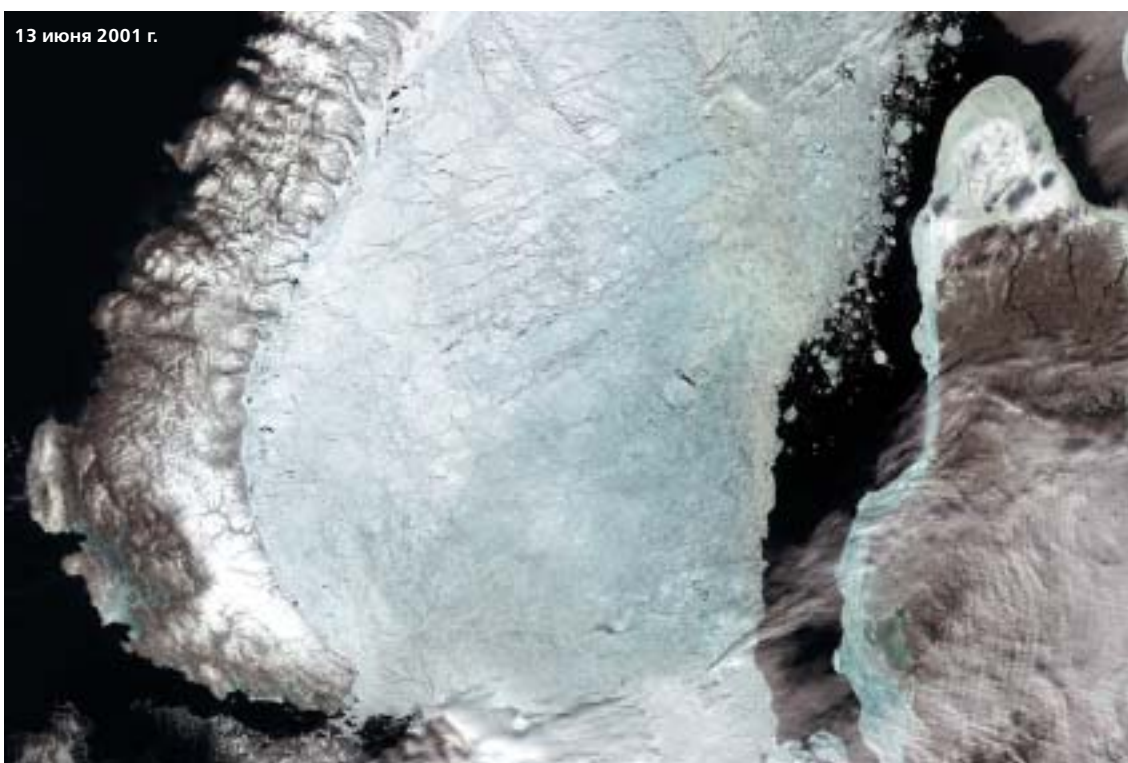




## Динамика схода ледяного покрова в Карском море



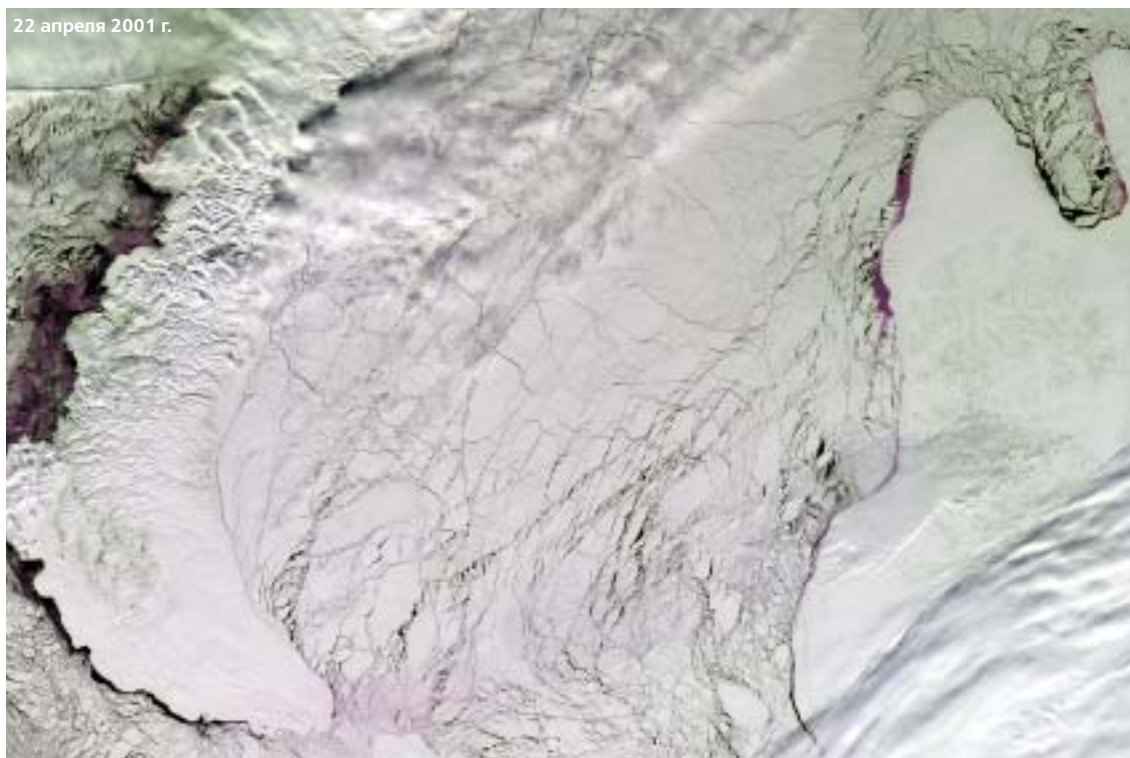
Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м



22 апреля 2001 г.

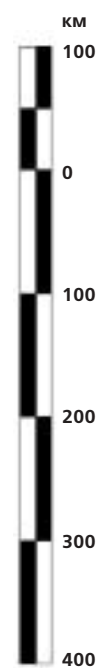


Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м

09 августа 2001 г.



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м



## Динамика схода ледяного покрова в Финском заливе

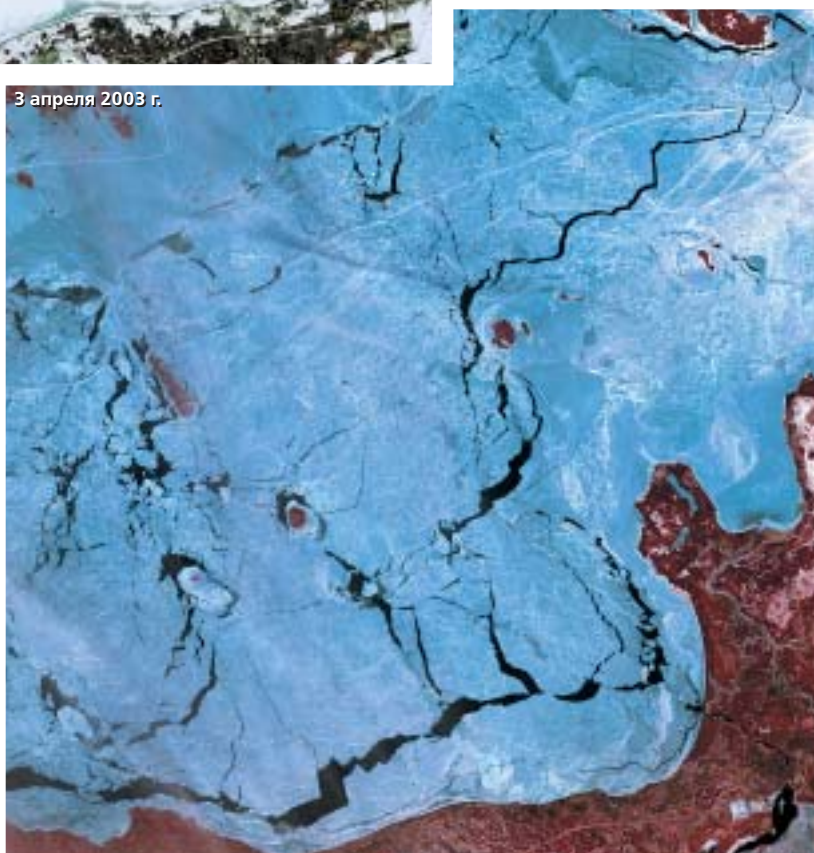
08 марта 2003 г.



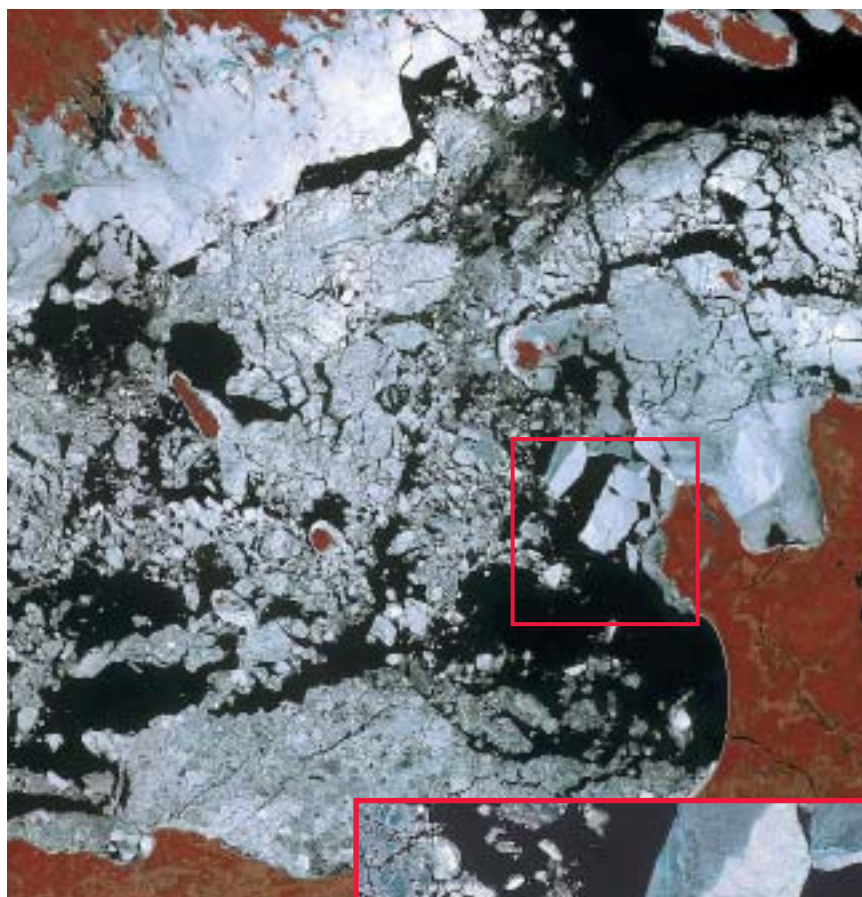
Снимки IRS-1D LISS, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 23 м.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc.,  
ИТЦ СканЭкс, 2003 г.

- 1 – след от ледокольной проводки судов,
- 2 – нагромождения торосов,
- 3 – трещины в результате деформации льда.

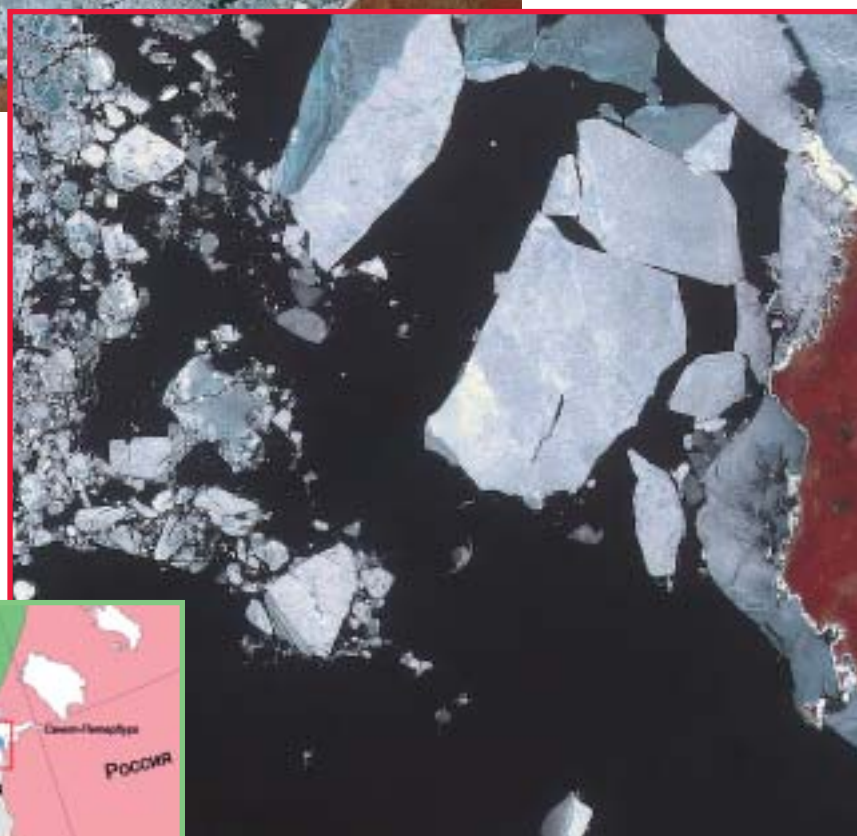
3 апреля 2003 г.







Фрагмент снимка  
IRS-1D LISS/PAN.  
Пространственное разрешение  
приведено к 5,8 м  
по панхроматическому каналу.  
Дата съемки: 27 апреля 2003 г.

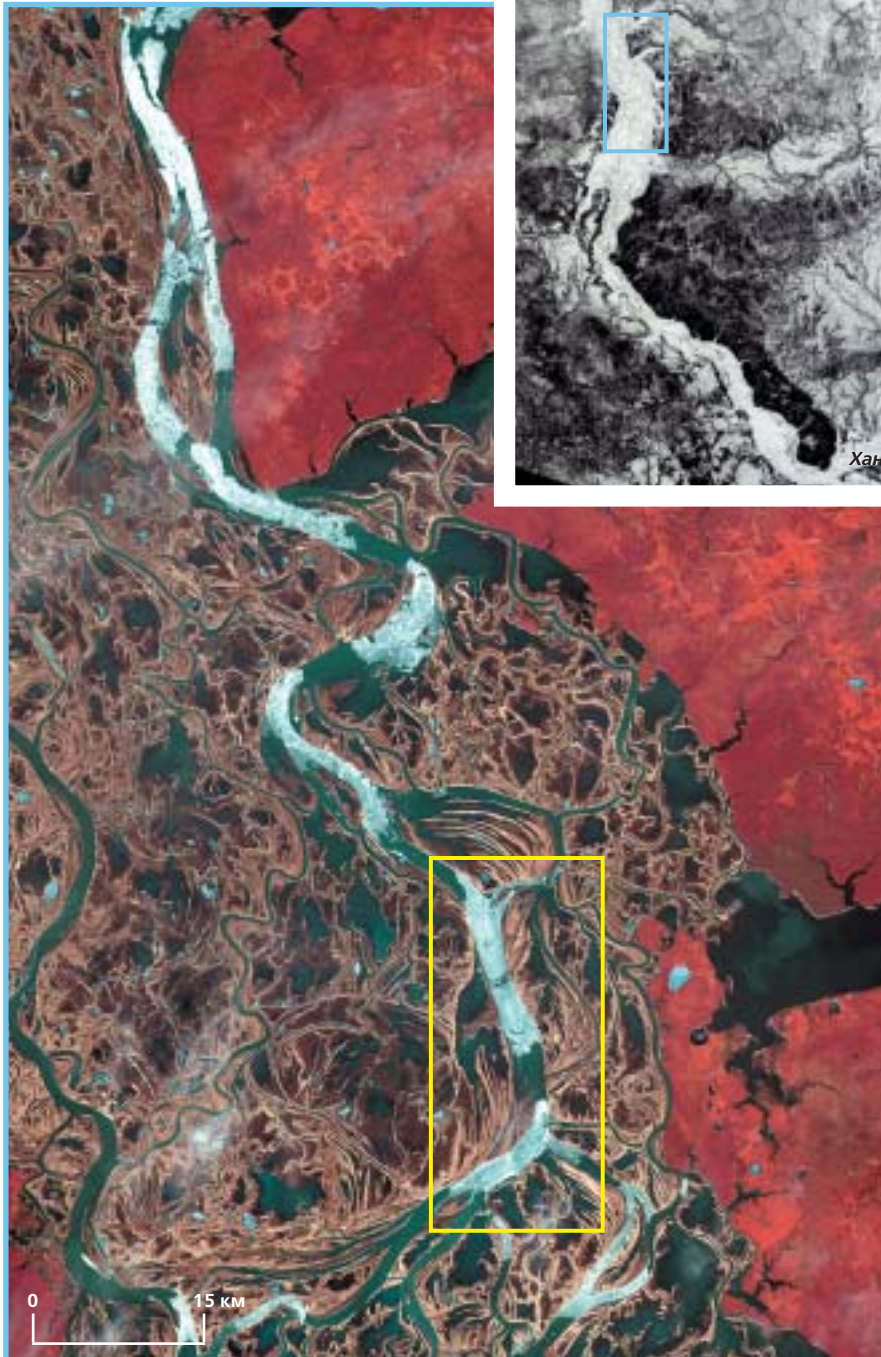




## Динамика схода ледяного покрова на северных реках

Оценка ледовой обстановки на реках для прогнозирования возникновения заторов льда. Среднее течение реки Обь

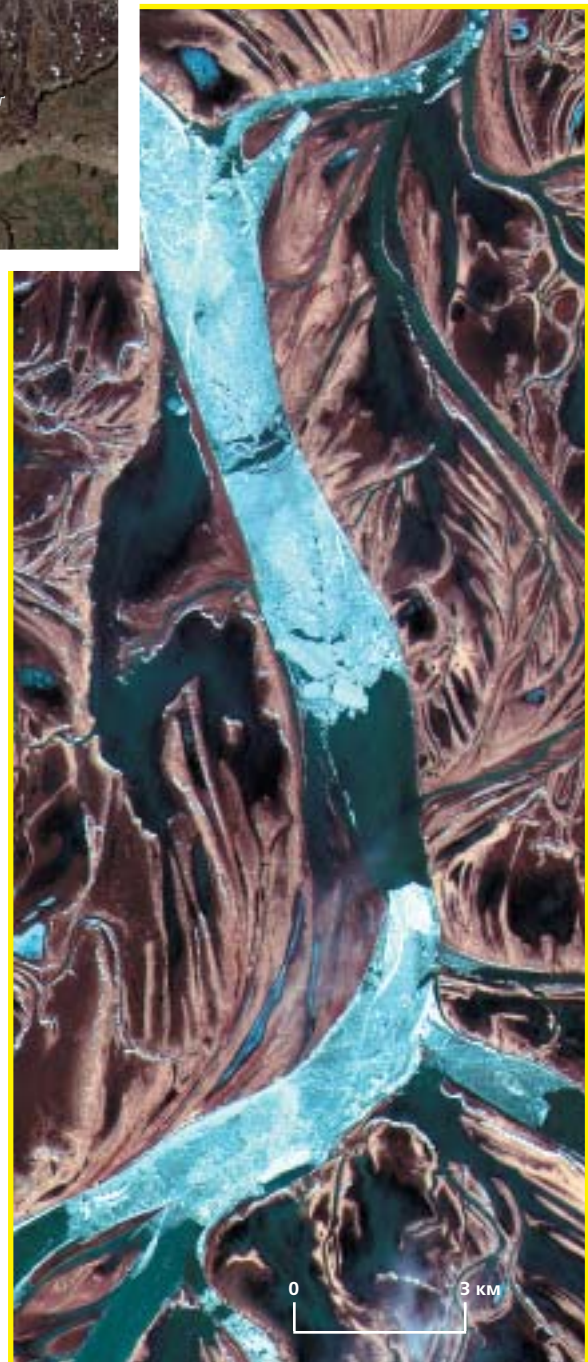
Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3.  
Пространственное разрешение  
приведено к 250 м.  
Дата съемки: 13 апреля 2003 г.



Снимок IRS-1D LISS,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное  
разрешение 23 м.  
Дата съемки: 17 мая 2003 г.  
© ANTRIX, Space Imaging Inc.,  
ИТЦ СканЭкс, 2003 г.



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3.  
Пространственное разрешение  
приведено к 250 м.  
Дата съемки: 21 мая 2003 г.



Фрагмент снимка IRS-1D LISS/PAN  
от 17 мая 2003 г., синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение  
приведено к 5,8 м  
по панхроматическому каналу.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2003 г.



## МОНИТОРИНГ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

### Распределение снежного покрова и его динамика на равнинных территориях

С помощью космической информации можно фиксировать границы распространения снежного покрова на обширных территориях. Повторные снимки создают условия для изучения динамики изменения снежных площадей. Наличие снега на открытых безлесных участках определяется с большой достоверностью и точностью. При дешифрировании снежного покрова лесных территорий приходится ориентироваться на заснеженность открытых площадок: болот, вырубок, озер.

Оперативное картографирование снежного покрова и скорость отступления его границ в весенний период (стр. 63) традиционно используются для решения практических задач, прежде всего, для гидрологических прогнозов. Средствами гидрологического моделирования определяется водозапас, осуществляется прогноз стока, снегового половодья в бассейнах рек. Ряд параметров для этого можно получить дистанционными методами. Это площадь бассейна реки, покрытая снегом, лесистость, распаханность и др. Некоторые параметры можно оценить косвенно. Например, зоны, охваченные снеготаянием, выявляются в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, а мощность снежного покрова рассчитывается по ряду последовательных снимков, скорости продвижения границ снегонакопления и температуре воздуха. Оперативные данные о снегозапасе бассейнов рек служат основой для принятия решений, например, о частичном спуске водохранилищ в период весеннего снеготаяния для предотвращения паводков.

В перспективе планируется перейти к определению из космоса мощности снежного покрова средствами микроволновой радиометрической съемки. Тем самым будет возможно для бассейнов крупных рек напрямую получать карты снегозапаса, а имея данные о плотности снега, — водозапаса снежного покрова. В настоящее время препятствием для широкого применения служит низкое пространственное разрешение.



Распределение снежного покрова и динамика отступления его границ в весенний период

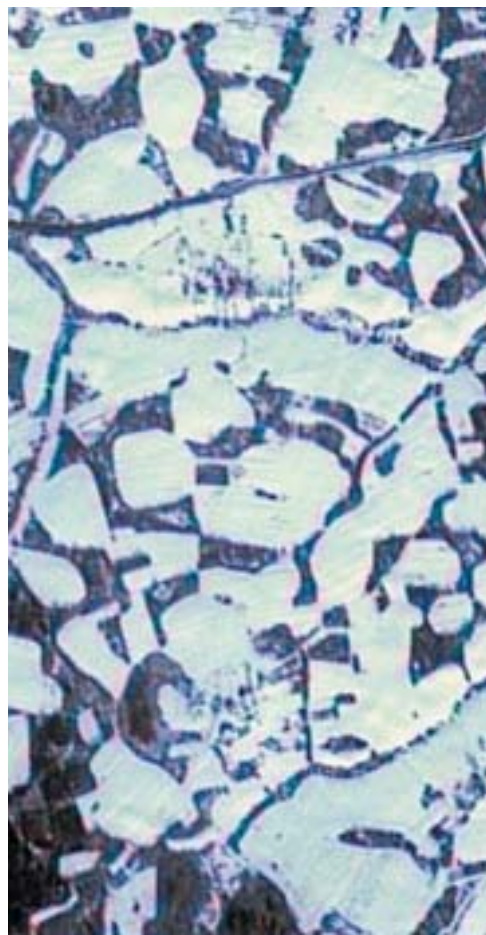
29 марта 2003 г.



Снимки Terra MODIS, синтез RGB 2:1:4.  
Пространственное разрешение приведено к 250 м.  
Верхнее течение Волги, Рыбинское водохранилище, Европейская часть России



8 апреля 2003 г.



16 апреля 2003 г.



Фрагмент снимка IRS-1C LISS/PAN, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение приведено к 6 м.  
Дата съемки: 22 марта 2003 г.  
Район Рыбинского водохранилища.

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2003 г.



### **Изучение распределения снежного покрова и его динамики в горах**

Сезонный снежный покров играет исключительную роль в процессах саморазвития горных регионов, определяет формирование и режим речного стока, оледенения и снежных лавин. Оказывая существенное воздействие на климат, он сам служит индикатором изменения климата.

Карты распределения снежного покрова, полученные по результатам дистанционного зондирования, помогают понять пространственные особенности и взаимосвязи ледниковых систем, оценить вклад разных факторов в формирование ледников и условий их существования. Точную информацию о режиме, распределении и изменчивости снежного покрова необходимо иметь для успешной реализации водохозяйственных мероприятий и регулирования водных ресурсов в бассейнах рек горных территорий при имеющемся дефиците воды в степной зоне.

Для оценки географических закономерностей распределения снежного покрова на Большом Кавказе (стр. 66–67) очень важно создать максимально полный статистически надежный массив данных положения его текущих границ и изучить его динамику. Ограниченное количество станций, ведущих регулярные наблюдения, не дает адекватного представления о многолетней изменчивости распределения снежного покрова в различных частях Большого Кавказа (особенно в высокогорье). Данных же о межгодовой изменчивости снегозапасов безнадежно мало. Поэтому для труднодоступных горных территорий и для всего региона требуется восполнить недостаток сведений с помощью мониторинга на основе постоянно действующих космических съемочных систем совместно с пунктами измерений мощности снежных толщ.



### **Определение положения фирновой линии в горных ледниках**

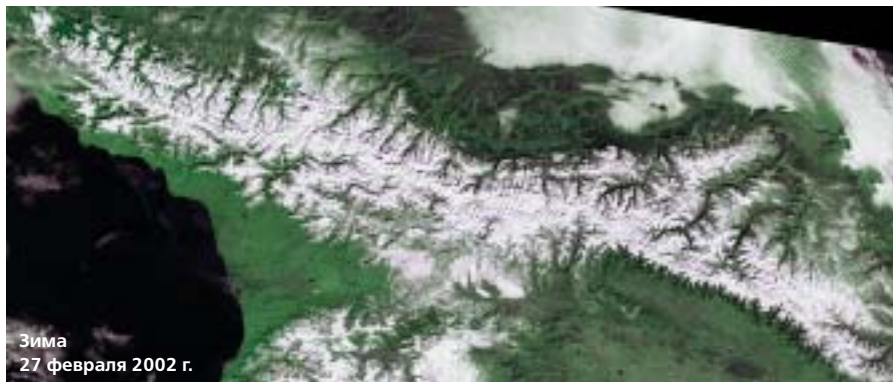
Состояние горного оледенения характеризуется балансом массы ледника. Когда баланс массы положительный, то есть приход вещества (аккумуляция) больше расхода (абляции), масса льда увеличивается, ледник продвигается вперед. При отрицательном балансе масса льда уменьшается, ледник отступает, освобождая место, которое он занимал. Как правило, ледники наступают при увеличении влажности и уменьшении температуры воздуха и отступают при уменьшении осадков и увеличении температуры воздуха. Так называемая граница питания — это важнейший пограничный уровень, проходящий там, где аккумуляция в целом за год равна абляции. Высоту границы питания за год рассчитывают математически, а плановое положение — по специальным балансовым картам, которые получают в результате трудоемких полевых наблюдений.

Чуть выше границы питания на леднике проходит фирновая линия, ограничивающая снизу область, в которой на протяжении всего года сохраняется фирн и снег. Между границей питания и фирновой линией располагается неширокая полоса «наложенного» льда. Таким образом, местоположение и конфигурация границы питания и фирновой границы связаны между собой. Фирновую линию как границу между льдом и снегом легко определить по космическим снимкам (стр. 68), получаемым для северного полушария в конце лета — начале осени, а зная положение фирновой линии за ряд лет, можно сделать вывод о тенденциях изменения климата целого региона.

Таким образом, картографирование снежного покрова по космическим снимкам может служить основой для изучения проблем потепления климата, повышения уровня мирового океана, затоплений густонаселенных и освоенных земель, изучения реакции компонентов ледникового комплекса на глобальные климатические изменения.



## Сезонная динамика снежного покрова территории Большого Кавказа



◀ Снимки Terra MODIS,  
синтез RGB 1:4:3.  
Пространственное разрешение  
1-го канала — 250 м,  
3-го и 4-го каналов — 500 м

Максимальное снегонакопление.  
11 мая 2001 г.

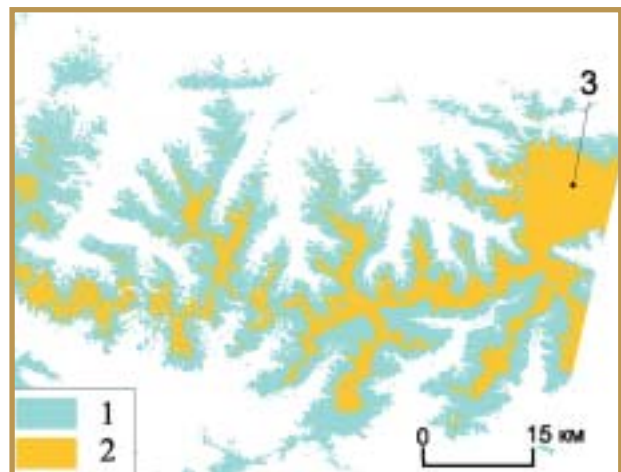


Снимки IRS-1D LISS, синтез в «натуральных» цветах. Пространственное разрешение 23 м  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2001 г.

Минимум снежного покрова.  
23 августа 2001 г.

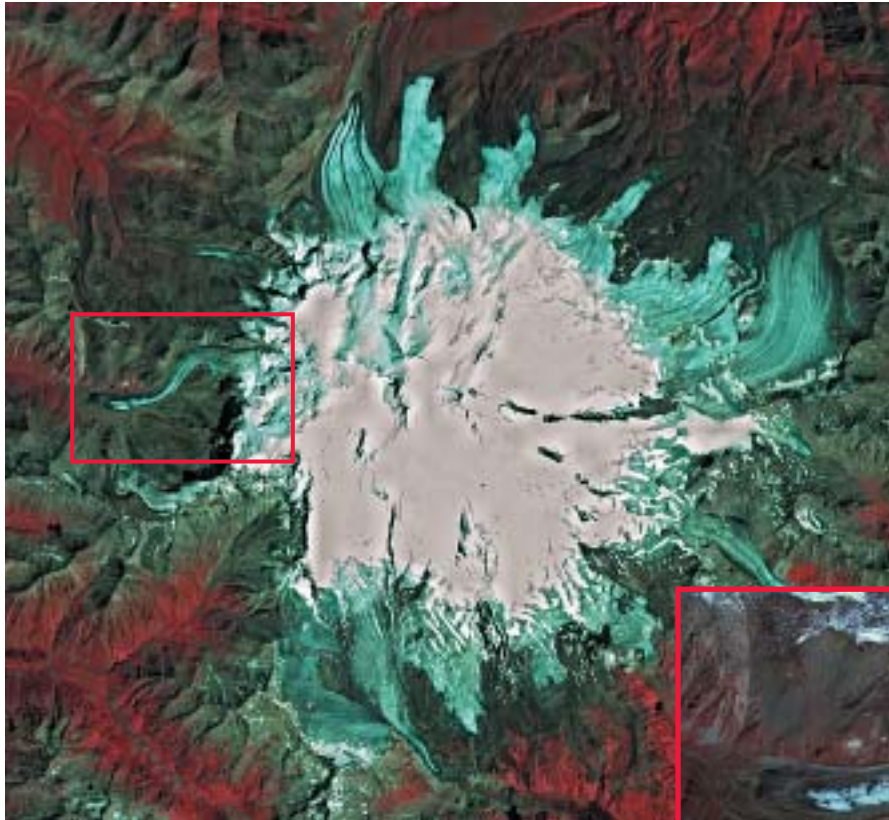


Карта-схема распределения  
максимальной (1) и минимальной (2) снежности  
к западу от г. Эльбрус (3)





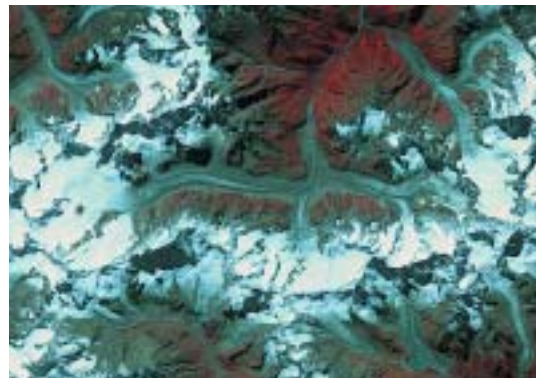
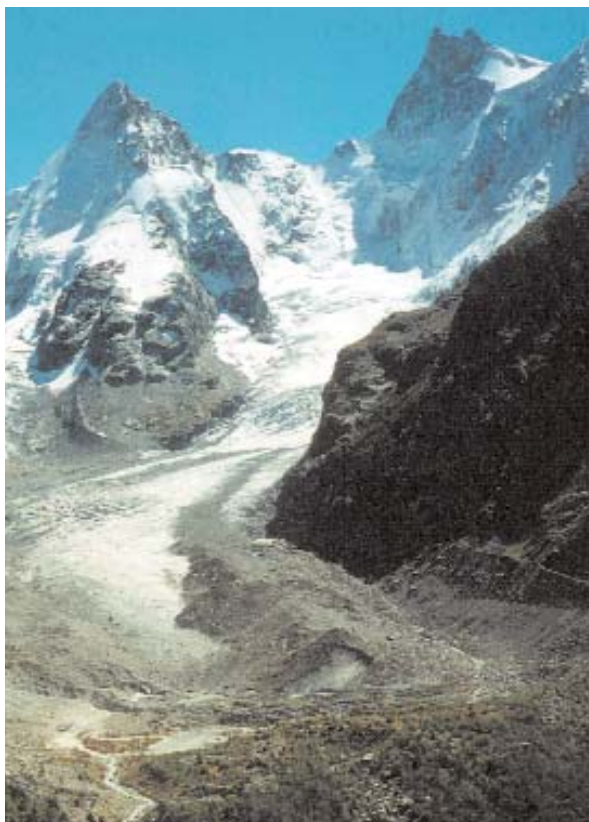
### Определение положения фирновой линии на горном леднике



Снимок Landsat 7 ETM+,  
синтез RGB 4:3:2.  
Пространственное  
разрешение  
приведено к 15 м.  
Дата съемки:  
9 августа 1999 г.  
г. Эльбрус,  
Центральный Кавказ



Снимок IRS-1D LISS, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение приведено к 5,8 м.  
Дата съемки: 23 сентября 2002 г.  
Ледник Кюкюртлю, оледенение Эльбруса  
© ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.



Снимок Terra ASTER, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 15 м.  
Дата съемки: 15 сентября 2001 г.  
Участок Главного Кавказского Хребта,  
Лекзырский ледниковый узел



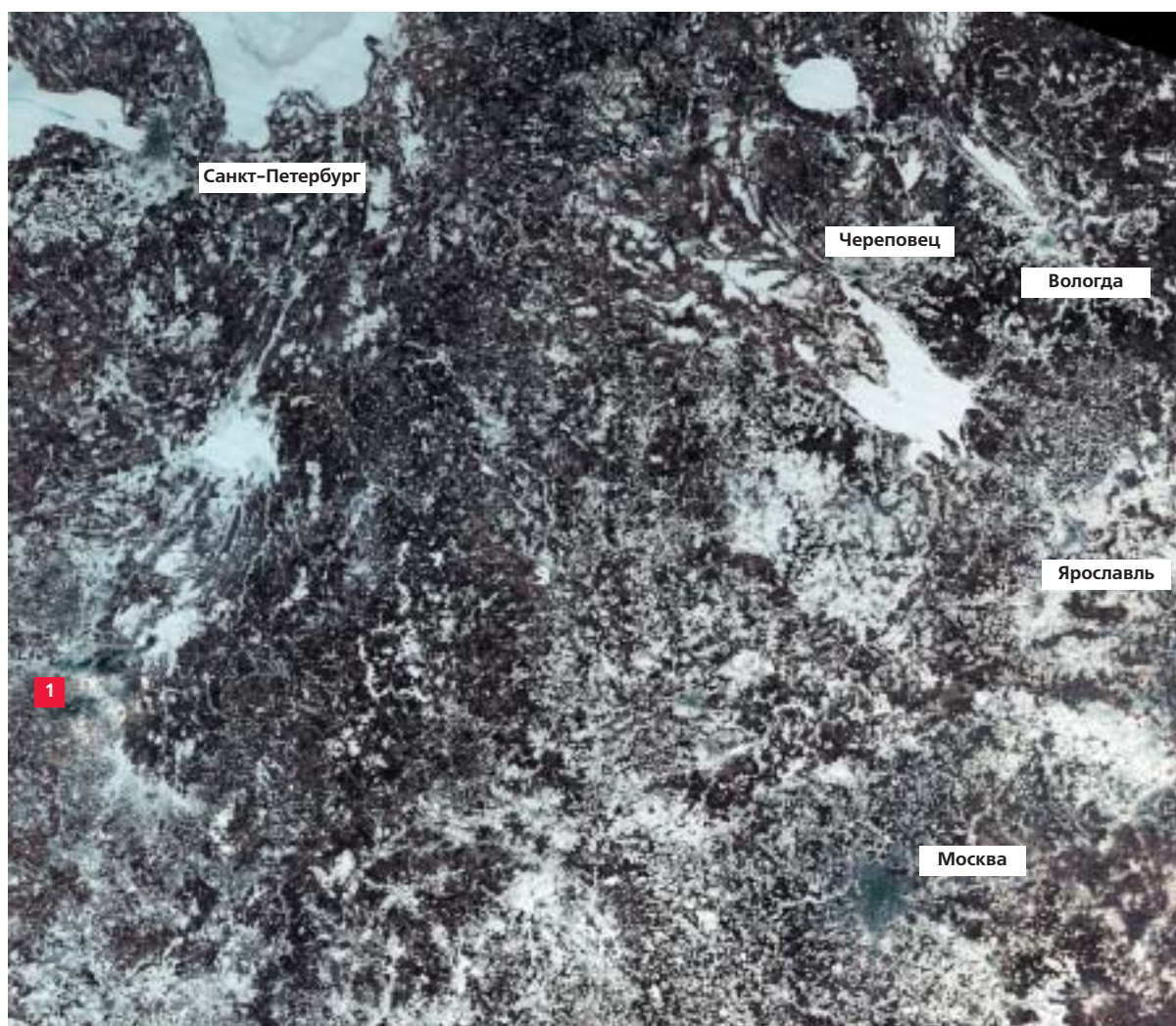
### Снег как индикатор загрязнения воздуха

Снег является хорошим индикатором распространения загрязнений вокруг крупных городов. Загрязняющие вещества выпадают из атмосферы в сухом виде и с осадками и накапливаются в снежном покрове на больших расстояниях от источников — промышленных предприятий, транспортных коммуникаций и т.п. Загрязнение снега влияет на яркость изображения на космических снимках, что дает возможность совместно с результатами обработки проб снега картографировать площади и интенсивность загрязняющих воздействий. Наиболее ощутимы различия в характеристиках снежного покрова в городах и на фоновых территориях весной, хотя закладываются они еще зимой. При снеготаянии эти контрасты становятся более выраженными за счет накопления загрязняющих веществ, вытравливаемых из снега.

Лучше всего выявляется загрязнение снега на космических снимках среднего разрешения, фиксирующих расплывчатые пятна городов на белом фоне заснеженной земной поверхности (стр. 70–71). Как показали наземные наблюдения, плотность тона соответствует степени загрязненности снега. При этом размер пятна загрязнения может многократно превышать площадь его источников.



## Загрязнение снежного покрова как индикатор загрязнения воздуха



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 2:1:4.  
Пространственное разрешение  
приведено к 250 м.  
Дата съемки: 8 марта 2003 г.

На приведенном снимке Terra MODIS, охватывающем промышленный центр Европейской России, хорошо видно темно-серое пятно Московской агломерации. Область загрязнения ориентирована на северо-восток в сторону Ярославля и соответствует направлениям господствующих ветров. Хорошо выделяются пятна загрязнений вокруг промышленных центров Санкт-Петербурга, Твери, Череповца, Вологды. Неясное происхождение имеет изобразившаяся на снимке полоса загрязнения южнее озера Ильмень (1).



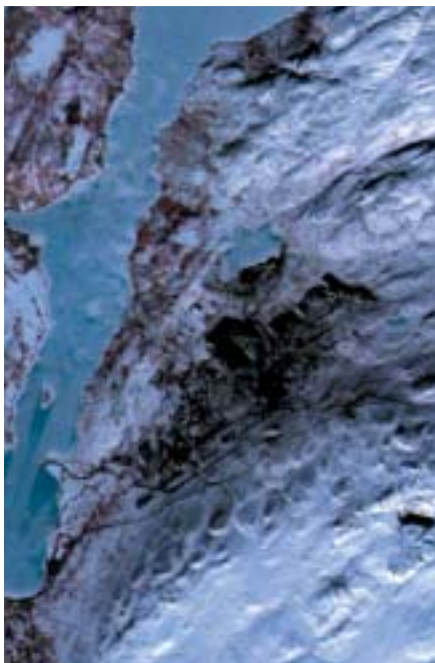
### Загрязнение снежного покрова в зонах влияния промышленных центров и транспортных коммуникаций



◀ Снимок Terra ASTER, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 15 м.  
Дата съемки: 15 марта 2001 г.  
Нижний Тагил, Свердловская область

1 0 1 2 3 км

▶ Снимок IRS-1C LISS, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 23 м.  
Дата съемки: 6 марта 2003 г.  
Магнитогорский  
металлургический комбинат  
©ANTRIX, Space Imaging Inc.,  
ИТЦ СканЭкс, 2003 г.



2 0 2 4 6 км

◀ Снимок IRS-1D LISS  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное  
разрешение 23 м.  
Дата съемки: 29 марта 2003 г.  
Никель, Мурманская область  
©ANTRIX, Space Imaging Inc.,  
ИТЦ СканЭкс, 2003 г.

1 0 1 2 3 км



## НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПАВОДКАМИ И НАВОДНЕНИЯМИ

Наводнения являются одним из наиболее грозных природных и техногенных явлений, приводящих к большим экономическим потерям и человеческим жертвам. Вызываются наводнения в большинстве случаев продолжительными, интенсивными дождями и ливнями, на реках Северного полушария – бурным таянием снега, а также заторами льда. В высокогорье известны случаи, когда наводнения вызывались прорывами внутриледниковых озер в результате аномально высоких температур воздуха и ливневых дождей. В приморских районах при сильных ветрах нередко нагонные наводнения, а при подводных землетрясениях и извержениях вулканов – наводнения, вызываемые волнами цунами. В этой ситуации важнейшими вопросами становятся прогноз и предупреждение катастрофических событий. В России наиболее опасные наводнения случаются в период прохождения весеннего половодья.



Фото с сайта МЧС Республики Саха (Якутия)  
<http://emercom.ykt.ru/left.htm>

По данным зарубежных источников, за период с 1962 по 1992 гг. число пострадавших от наводнений в мире составило 36% от общего числа пострадавших во всех природных и техногенных катастрофах. Поэтому обеспечение защиты населения и хозяйственных объектов от наводнений является приоритетным направлением.

Космическая информация позволяет не только наблюдать развитие паводка или половодья, но и получать оперативный прогноз зон затопления, оценивать принесенный ущерб, решать задачи выбора защитных дамб для сдерживания наводнения, выявлять участки, которым еще угрожает затопление и т.д. Применение компьютерных алгоритмов обработки данных делает возможным автоматическое определение границы воды и суши, площадей затопленных земель, а также выявление территорий, находящихся в опасности из-за поднимающегося уровня воды.

Большинство населенных пунктов традиционно расположено вблизи водных объектов. В последние годы отмечается тенденция ускорения застройки прибрежных территорий – пойм и прирусловых террас. Важная особенность космического мониторинга – это возможность совмещения оперативной информации о состоянии местности (фотопортрета местности) и цифровых картографических слоев ГИС, содержащих данные о планировании городского строительства, проектировании защитных сооружений, развитии инфраструктуры, для оценки риска возможного затопления.

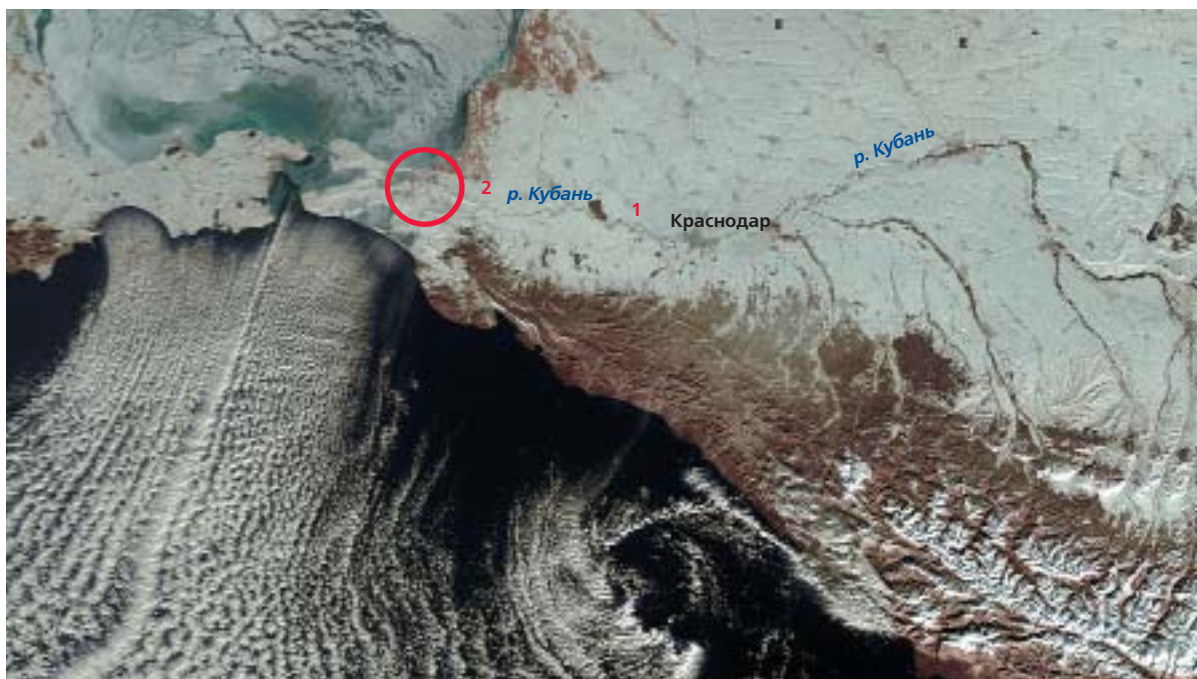
### Зимнее наводнение в устье реки Кубань, 2002 г.

Наводнение произошло в январе в результате резкого повышения температуры воздуха, выпадения осадков в виде дождя и интенсивного таяния снега. Это вызвало катастрофический подъем уровня воды в реке и ледоход в нижнем течении (участок 1 на снимке ниже). С 8 по 10 января нагон ветром с моря забил рукава р. Кубань льдом, а снижение температуры до  $-28^{\circ}\text{C}$  сковало устье льдом, создав мощные ледяные заторы. Уровень воды в реке начал катастрофически подниматься, переливы через дамбы и обвалования создали прораны\*, и вода затопила прилегающие территории. Подтопленными оказались населенные пункты и сельхозугодья (2).

### Наводнение в июне 2002 г. на реке Лаба, бассейн реки Кубань

Причиной наводнений в бассейне р. Кубань явились интенсивные ливневые осадки (до трех месячных норм в течение 2–3 дней). Ситуацию усугубили не стаявшие из-за холодной весны запасы снега в горных районах. В результате 20 июня произошел подъем уровня воды, начиная с притоков, берущих начало в горных и высокогорных районах. С 22 июня волна паводка сместилась на равнинную территорию, затопила первую и вторую надпойменные террасы с находящимися на них десятками населенных пунктов, разрушила мосты, дороги, линии электропередачи. На стр. 75 приведена серия снимков района реки Лаба до, во время и после событий, позволяющая оценить масштабы и последствия наводнения.

Снимок Terra MODIS,  
синтез RGB 2:1:3.  
Пространственное  
разрешение  
приведено к 250 м.  
Дата съемки:  
9 января 2002 г.



- 1 – ледоход на реке Кубань;  
2 – зона, которая была подтоплена с 10 января 2002 г.

\* – промоина, образовавшаяся в теле земляных защитных валов и дамб при прорыве их водным потоком

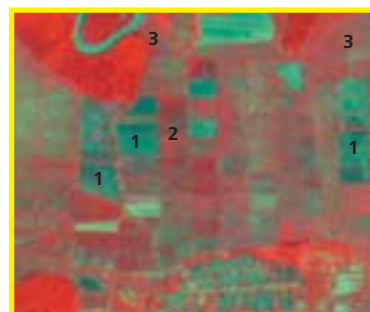
## Оперативная оценка масштабов наводнений рек

Серия космических снимков до наводнения, во время наводнения и после наводнения. Река Лаба, Краснодарский край

Наводнение было вызвано продолжительными, интенсивными дождями и ливнями в результате прохождения мощного циклона.



Снимок IRS-1D LISS, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 23 м. Дата съемки: 30 мая 2002 г.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.



- 1 – открытые почвы (черноземы)
- 2 – поля, занятые с/х культурами
- 3 – высокая пойма реки, покрытая луговой растительностью



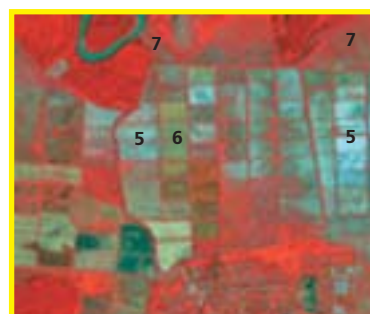
Снимок IRS-1D LISS, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 23 м. Дата съемки: 24 июня 2002 г.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.



- 4 – территория, залитая водой, содержащей большое количество илистой фракции



Снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 4:3:2.  
Пространственное разрешение 30 м. Дата съемки: 30 июля 2002 г.



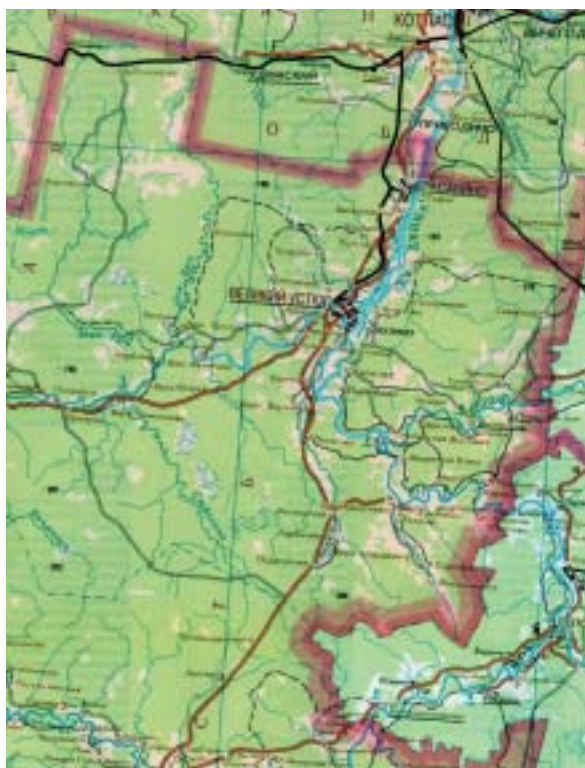
- 5 – заиленная поверхность с/х полей (черноземов)
- 6 – поля с увядшими с/х растениями
- 7 – пойма реки с сохранившейся на ней растительностью



### Наводнение 1998 г. в районе г. Великий Устюг

Одно из наиболее крупных наводнений за последние 20 лет произошло в 1998 г. в районе слияния рек Сухона и Юг (Вологодская обл.) и привело к затоплению значительной части территории г. Великий Устюг в течение длительного времени. Причиной наводнения стало образование во время весеннего ледохода ледовой плотины (затора) в узле слияния притоков, а также на перекатах реки, ниже по течению. Ледяной затор, достигший максимума 4–6 мая 1998 г., вызвал повышение уровня воды в реке и затопление обширной территории поймы реки (правый снимок на стр. 77). В результате под водой оказалось больше половины площади городской территории Великого Устюга и окрестные деревни.

Космические снимки являются быстрым и относительно дешевым путем получения оперативной и точной информации о ходе наводнений. Частота съемок радиометром MODIS со спутников Terra и Aqua (два–четыре раза в сутки для одной и той же территории) позволяет проводить мониторинговые наблюдения, дает возможность оперативно принимать решения, например, направлять взрывотехников для уничтожения ледовых заторов на реках.



Великий Устюг  
на общегеографической  
карте.

© Роскартография, 2001 г.

20 0 20 40 км



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 2:1:4.  
Пространственное разрешение приведено к 250 м.  
Дата съемки: 22 апреля 2002 г.  
Наводнение в р-не г. Великий Устюг

На космическом снимке MODIS виден момент образования затора (1). По темному тону отчетливо читается начавшийся разлив реки выше ледяной плотины.

Наводнения, вызываемые заторами льда во время весеннего ледохода

Вологодская обл., г. Великий Устюг



Пример космического снимка для минимального уровня воды в реке в период летней межени.

Снимок IRS-1C LISS/PAN, синтез RGB 3:2:2.

Пространственное разрешение приведено к 6 м.

Дата съемки: 10 июля 2003 г.

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2003 г.

Крупнейшее за последние 20 лет наводнение, вызванное ледяным затором.

Снимок Ресурс-01 МСУ-Э, синтез RGB 3:2:1.

Пространственное разрешение 35 м.

Дата съемки: 11 мая 1998 г.

### Эксперимент «Вешние воды».

#### Мониторинг катастрофического паводка в дельте реки Терек

Летом 2002 г. в дельте Терека прошел катастрофический паводок. Объем стока воды за период паводка 20.06–22.07.2002 достиг  $2,89 \text{ км}^3$ , что составило 25% от объема стока многоводного года; объем стока взвешенных наносов (53,4 млн.т) был близок по величине стоку наносов многоводного года. Паводок такого объема и продолжительности является абсолютно уникальным для дельты Терека. В период паводка были размыты десятки километров защитных валов и дамб, затоплены тысячи гектаров сельскохозяйственных угодий, нанесен серьезный урон природной среде и экономике региона.

Спутниковый мониторинг катастрофического паводка проводился в Государственном океанографическом институте на основе совместного анализа ежедневно поступающих снимков среднего разрешения Terra MODIS и ежедневной информации наблюдательной сети Дагестанского Центра по гидрометеорологии об уровнях и расходах воды и состоянии водных объектов дельты Терека. По данным мониторинга фиксировались разливы на территории дельты и оперативно оценивались масштабы затопления.

На пике паводка 26.06.2002 г. в среднем течении магистрального рукава дельты Терека были размыты защитные валы, образовался основной проран, были затоплены территории на левобережье. На основе снимков среднего разрешения в июле–августе 2002 г. был проведен экспресс-анализ процесса заливания дельты Терека после образования прорана. На спутниковых снимках отмечались границы и вычислялись площади затопления дельты. Дискретность оценок площадей затопления зависела от метеорологической обстановки в регионе во время съемки, при отсутствии облачности изменения оценивались ежедневно.

Использование спутниковых изображений позволило:

- определить районы наиболее опасных проранов и основные направления сброса паводковых вод в дельте Терека;
- обозначить границы максимального затопления в дельте Терека в период паводка и динамику площадей затопления в июне–октябре 2002 г.;
- оценить продолжительность стояния паводковых вод на залитых территориях.



Река Терек. Июль 2002 г.  
Основной проран из русла  
Терека на левобережье





Река Терек. 22 июня 2002 г.  
Полностью размыта  
автодорога на с. Крайновка  
на левобережье в районе  
моста Аликазган.



Река Терек. Июль 2002 г.  
Участок русла Терека  
в период паводка

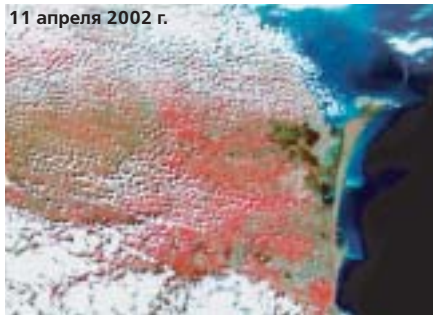


Река Терек. 22 июня 2002 г.  
Полностью размыта  
автодорога и затоплен  
кутан Красный Партизан  
на левобережье.

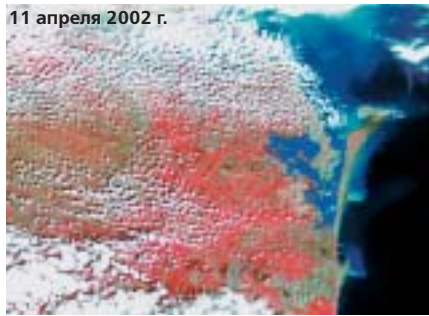
Фотографии предоставлены  
начальником Дагестанского ЦГМС  
Поставиком П.В.

## Последовательная съемка паводка в дельте реки Терек


11 апреля 2002 г.




11 апреля 2002 г.



Снимки Terra MODIS,  
синтез RGB 2:1:4.  
Пространственное  
разрешение 250 м.

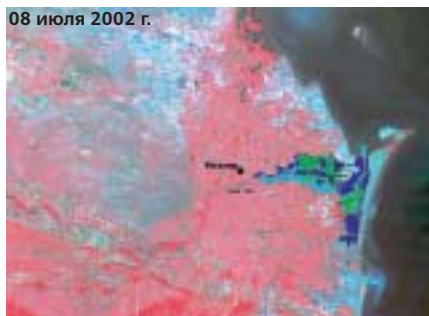
 мутная текущая вода,  
насыщенная наносами


 стоячие  
отфильтрованные  
воды внутренних  
водоемов и лагун

08 июля 2002 г.



08 июля 2002 г.

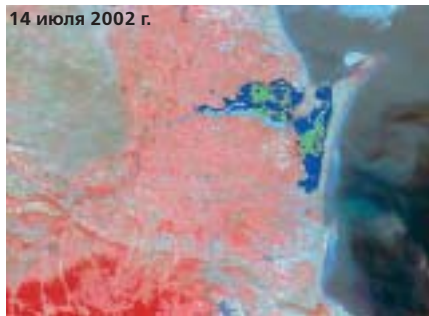


 надводная  
и внутриводная  
растительность  
на затопленных  
территориях

14 июля 2002 г.



14 июля 2002 г.



22 июля 2002 г.



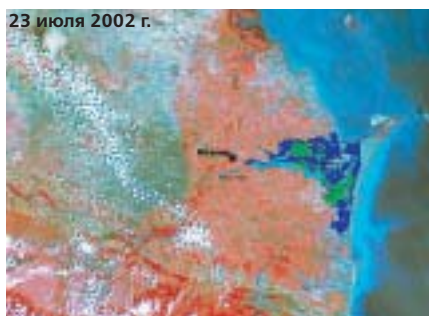
22 июля 2002 г.



23 июля 2002 г.



23 июля 2002 г.



Исходные снимки

Снимки после дешифрирования

## МОНИТОРИНГ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Изучение и освоение морей и океанов жизненно важно для человечества. На это затрачены тысячелетние усилия и вложены колоссальные средства. Несмотря на то, что огромные водные пространства стали доступными для транспортного сообщения, добычи биопродуктов и сырья, изученность морей и океанов остается крайне недостаточной. Поэтому использование космической техники для познания тайн Мирового океана весьма актуально.

На практике исследование морей и океанов сопряжено с натурными наблюдениями, которые охватывают небольшие участки. Применение космических снимков в изучении морских акваторий позволяет прямыми и косвенными методами дешифрирования экстраполировать натурные наблюдения различной направленности на большие территории. Наилучшего результата в исследовании морей можно добиться, проводя так называемые «подспутниковые» наблюдения, когда одновременно со съемкой с космического аппарата проводятся натурные исследования. Это позволяет избежать влияния атмосферы при использовании космических снимков и перейти от качественных показателей к количественному анализу ситуации, экстраполировать полученную информацию на обширные территории.

Особое внимание уделяется мониторингу прибрежных территорий и шельфовых зон — на этих территориях сосредоточены огромные запасы природных ресурсов, здесь же на побережьях сосредоточена большая часть населения нашей планеты, оказывающая влияние на состояние водных экосистем. Мониторинг этих территорий целесообразно проводить, используя в комплексе данные низкого, среднего и высокого разрешения. Это необходимо для решения широкого спектра задач, начиная с метеорологических, навигационных и заканчивая вопросами легального рыболовства, экологии и рекреации.

Постоянно меняющаяся температура воды в океане служит косвенным показателем содержания фитопланктона, а следовательно, скоплений и путей миграции рыбных косяков. Кроме того, температура воды является индикатором таких явлений, как океанические течения, апвеллинг и др. Карты динамики температуры водных поверхностей можно получить по данным тепловой съемки со спутников Terra, Aqua, метеорологических спутников. Изучать океанические течения (направления, скорость движения) возможно и прямыми наблюдениями со спутников, фиксируя положение айсбергов, а также битого льда и крупного мусора.





Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м.  
Дата съемки: 10 июня 2002 г. Черное море

Для целей мониторинга акватории морей наибольшее применение находят снимки со спутников Terra и Aqua (спектрорадиометр MODIS). Эти данные позволяют охватывать обширные территории, используя 36 спектральных каналов с пространственным разрешением от 250 метров до 1000 метров, разносторонне оценивать состояние водных объектов. Для более детального рассмотрения водных поверхностей, особенно в зонах контакта суши и моря, целесообразно использовать снимки с разрешением в десятки метров, имеющие спектральные каналы в видимом диапазоне, например со спутников Landsat (TM, ETM+), IRS (LISS), Terra (ASTER), и другие. Особая роль у радиолокационных снимков, например со спутника RADARSAT-1 (SAR), которые позволяют независимо от погодных условий получать информацию о местонахождении и типах судов, волнении, наличии нефтяных пленок на водной поверхности и др.

Космическая информация позволяет при достаточной прозрачности и малой взволнованности водной поверхности исследовать на небольших глубинах рельеф морского дна, его геологическое строение, а в ближнем инфракрасном диапазоне – ареалы распространения подводных растений. С помощью космических снимков решается задача мониторинга загрязнения океана, прежде всего нефтепродуктами. В силу того, что нефтяная пленка изменяет отражательные свойства водной поверхности, контраст между пятнами нефти и чистой водой возможно дешифровать на снимках.



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м.  
Дата съемки: 2 июля 2003 г. Мраморное море



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м.  
Дата съемки: 15 июня 2003 г. Азовское море



Снимок Terra MODIS, синтез RGB 1:4:3. Пространственное разрешение приведено к 250 м.  
Дата съемки: 24 сентября 2002 г. Каспийское море (северная часть)

## МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ: ОБМЕЛЕНИЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Одна из крупных экологических катастроф нашего века произошла в Приаралье и связана с падением уровня Аральского моря.

Аральское море – второй по величине после Каспия бессточный водоем на Земле. Арал не связан с океаном, поэтому на самом деле это озеро, а не море. Морем его называют благодаря огромным размерам и режиму, сходному с морским.

В первой половине XX в. режим Аральского моря был довольно устойчив: водоем имел регулярное питание водами впадающих в него рек Амударьи и Сырдарьи и почти стабильный уровень. Однако в 60-х годах уровень Арала стал быстро падать, и водоем начал менять очертания.

После многих лет интенсивного и крайне нерационального ведения хозяйства, связанного с увеличением площади орошаемых земель и увеличением интенсивности самого орошения, в Приаралье значительно сократился сток рек, впадающих в Арал. Большую роль в этом сыграли сооружение крупных оросительных каналов (Каракумский, Большой Ферганский), увеличение забора воды и дополнительные потери воды на испарение с поверхности многочисленных водохранилищ.

Снижение уровня Аральского моря началось с 1961 г., причем падение уровня шло с ускорением. За 1961–1970 гг. он понизился на 2,0 м, средняя интенсивность понижения составляла 20 см/год. В 1971–1980 и 1981–1990 гг. уровень понизился соответственно на 5,7 и 7,2 м; а средняя интенсивность его падения увеличилась до 57 и 72 см в год.

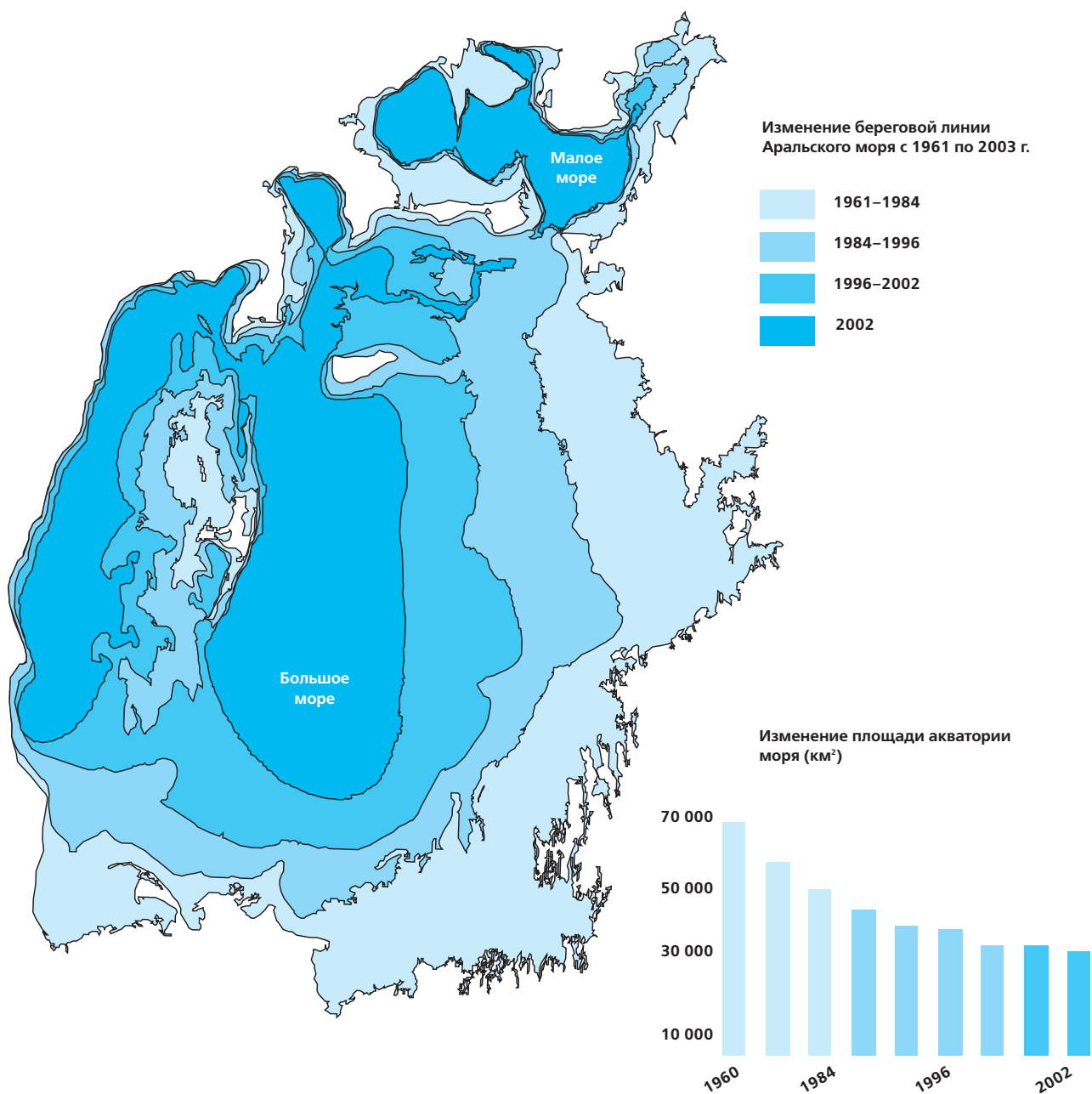
За 30 лет (1961–1990 гг.) уровень Аральского моря снизился на 14,8 м. Одновременно значительно сократились объем воды (с 1 093 до 330 км<sup>3</sup>, т.е. на 763 км<sup>3</sup>, или более чем в 3 раза) и площадь водоема (с 68 480 до 36 500 км<sup>2</sup>, или почти вдвое). Средняя глубина уменьшилась с 16,0 до 9,0 м, т.е. на 7 м. К 1995 г. уровень водоема понизился еще приблизительно на 2 м. Таким образом, за 35 лет уровень Арала снизился почти на 17 м.

В 1988–1989 гг. две части водоема (меньшая северная – Малое море, или Малый Арал, и большая южная, или Большой Арал) полностью разделились. В Малое море поступал небольшой сток Сырдарьи, Большое море питал сток Амударьи. В последнее время площадь Малого моря изменялась незначительно, что свидетельствует о стабилизации его уровня. Площадь Большого моря продолжала уменьшаться. Пролив Берга, соединявший ранее Малое и Большое моря, превратился в небольшой, но достаточно длинный проток, по которому излишки воды из Малого моря сбрасывались в Большое море.



Таким образом, на глазах одного поколения произошла крупнейшая на Земле экологическая катастрофа. За 40 лет уникальный, ценнейший в экологическом и экономическом отношении Арал обмелел и практически утратил свое рыбохозяйственное, транспортное и рекреационное значение. Усыхающий водоем оказывает отрицательное влияние на природные, социально-экономические, санитарно-эпидемиологические условия прилегающих территорий. Возникли серьезные проблемы с трудоустройством и переселением значительной части населения прибрежных районов. Негативные процессы в самом Арале и Приаралье продолжают развиваться и усиливаться. В этом отношении прогнозы весьма неутешительны.

### Изменение положения береговой линии Аральского моря на стыке двух столетий



Изменение положения береговой линии Аральского моря с 1996 по 2003 гг.  
на снимках Ресурс-О1 МСУ-СК и Terra MODIS



Снимки Ресурс-О1 МСУ-СК, синтез RGB 3:2:1. Пространственное разрешение 160 м



Снимки Terra MODIS, синтез RGB 2:1:4. Пространственное разрешение приведено к 250 м

Сезонное состояние Аральского моря на снимках Terra MODIS



Снимки Terra MODIS, синтез RGB 2:1:4. Пространственное разрешение приведено к 250 м

## МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ: ГЕНАЛДОНСКАЯ ЛЕДНИКОВАЯ КАТАСТРОФА 2002 г.

Вечером 20 сентября 2002 года около 20 часов в долине реки Геналдон, расположенной на северном склоне Большого Кавказа в Северной Осетии, произошла крупнейшая в истории России ледниковая катастрофа. Гигантский вал воды, льда и камней пронесся вниз по долине, сметая все на своем пути. Основным источником ледовых масс был ледник Колка, расположенный на северном склоне Казбекско-Джимарайского горного массива, являющегося частью Бокового хребта Большого Кавказа.

Грандиозная по объему ледовая масса была остановлена тесниной Скалистого хребта ниже Кармадонской котловины, а порожденные ею селевые потоки не дошли до селения Гизель, насчитывающего 10 000 жителей, всего 2 км. В результате стихийного бедствия были уничтожены базы отдыха, жилые дома, инфраструктура, завод минеральных вод. По официальным данным, на конец декабря 2002 г. обнаружены останки 19 погибших, пропавшими без вести считаются 106 человек. Ледовая масса в Кармадонской котловине преградила путь боковым притокам Геналдона и образовались многочисленные подпрудные озера. Самое крупное из них затопило три улицы селения Старая Саниба. В октябре 2002 г. ученые оценивали объем Санибанского озера в 3 млн м<sup>3</sup>. Был риск внезапного прорыва озера через ледовую массу, что могло привести к катастрофическим селям и затоплению села Гизель. Между тем, район ледника Колка, в котором начался катастрофический поток, находится в высокогорье и труднодоступен в осенне-зимнее время.

При оперативной оценке развития ситуации уникальную роль может сыграть многократная прицельная съемка со спутников серии IRS. Представленная на стр. 93 подборка снимков — это пример реальной частоты съемки высокогорного района с частой облачностью. Из подборки видно, что в период с 19 октября 2002 г. по 11 июля 2003 г. удалось провести успешные съемки IRS за 8 дат.

По материалам космической съемки можно предположить, как развивались события в момент катастрофы (см. стр. 94–95). Значительная часть ледника Колка была, по-видимому, выбита обвалами и сброшена вниз по долине. Затем гигантская масса устремилась вниз по долине, вовлекая в движение рыхлые отложения, воду, мертвые льды. Одновременно с этим ледово-каменная масса прошла по поверхности ледника Майли, оставив след, прекрасно читаемый на снимке на стр. 95.

После удара о Скалистый хребет основная часть льда остановилась и отложилась в Кармадонской котловине. На снимках на стр. 96 хорошо видны Санибанское озеро (1),





ледовая масса, заполнившая Кармадонскую котловину (2), временные подпрудные озера (3). Ранее пологая, покрытая мореной поверхность ледника Колка (4) после катастрофы рассечена глубокими каньонами (5); на склоне г. Джимарай-хох прослеживаются следы скальных обвалов (6); на поверхности ледника Колка вскоре после катастрофы образовалось временное озеро длиной до 300 м (7). Сравнивая снимки за разные даты (стр. 93), мы видим, что к весне 2003 г. многие подпрудные озера в Кармадонской котловине исчезли (детальные измерения показывают, что уменьшилась и площадь Санибанского озера, и значительно снизился его объем). Идет активное таяние льда, разрушение его речными потоками; центральная часть ледовой массы разбита трещинами. На снимке 11 июля 2003 г. видно, что зона скальных обвалов значительно разрослась. Высокая активность опасных природных процессов в районе делает космическую съемку важным инструментом мониторинга и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

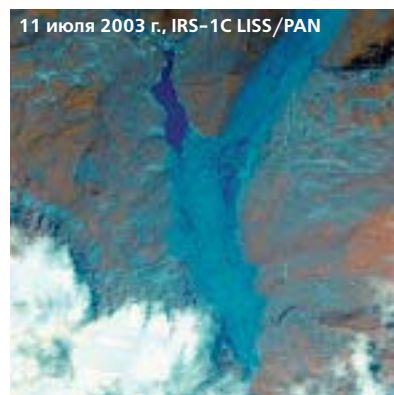
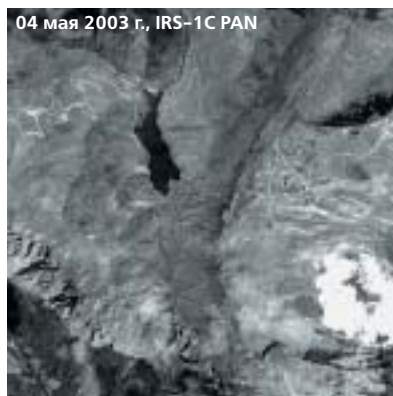
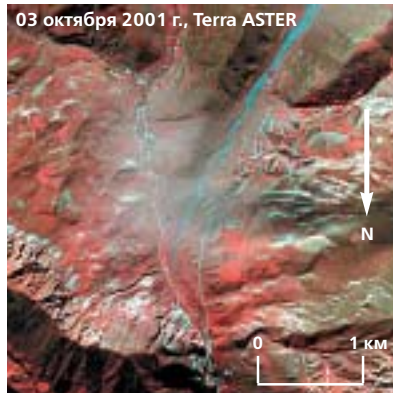
Гляциальная катастрофа 2002 г. стала неожиданностью для федеральных и региональных органов власти. Между тем подобные события происходили здесь и ранее. Имеются сведения о катастрофе, происшедшей около 1835 г., и через 67 лет, в 1902 г. Еще через 67 лет в 1969–1970 г. произошла пульсация ледника Колка, которая была детально изучена специалистами ИГАН СССР. После этого стационарных наблюдений в этом районе не проводилось. Применение космических снимков открывает новые возможности в исследовании потенциально опасных природных объектов во время стабилизации их состояния, позволяя прогнозировать их поведение в дальнейшем и минимизировать дорогостоящие аэробнаблюдения.



Следы движения ледово-водно-каменной массы по долине р. Геналдон.

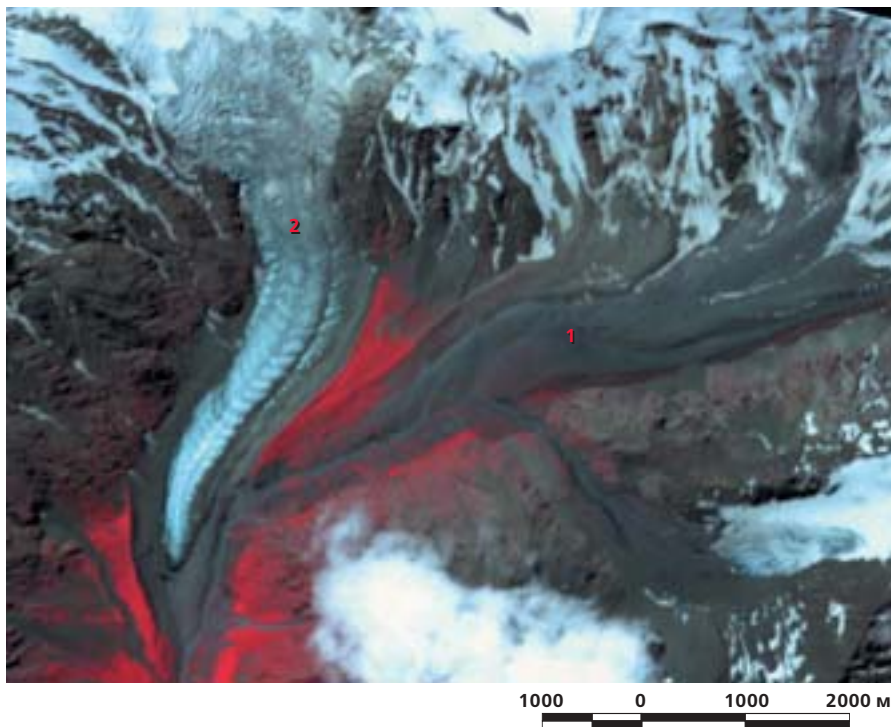
Фото О.В. Тубулиной, лето 2003 г.

Мониторинг состояния ледового тела и подпрудного озера в районе пос. Кармадон–Старая Саниба после катастрофы 2002 г.

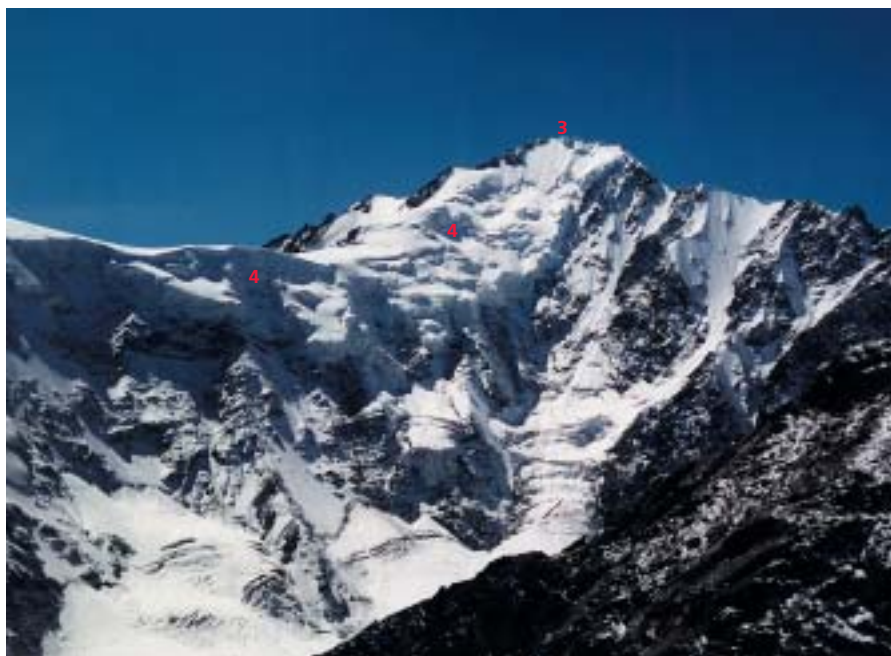




Район ледника Колка до и после катастрофы по данным  
космической съемки и наземной фотосъемки



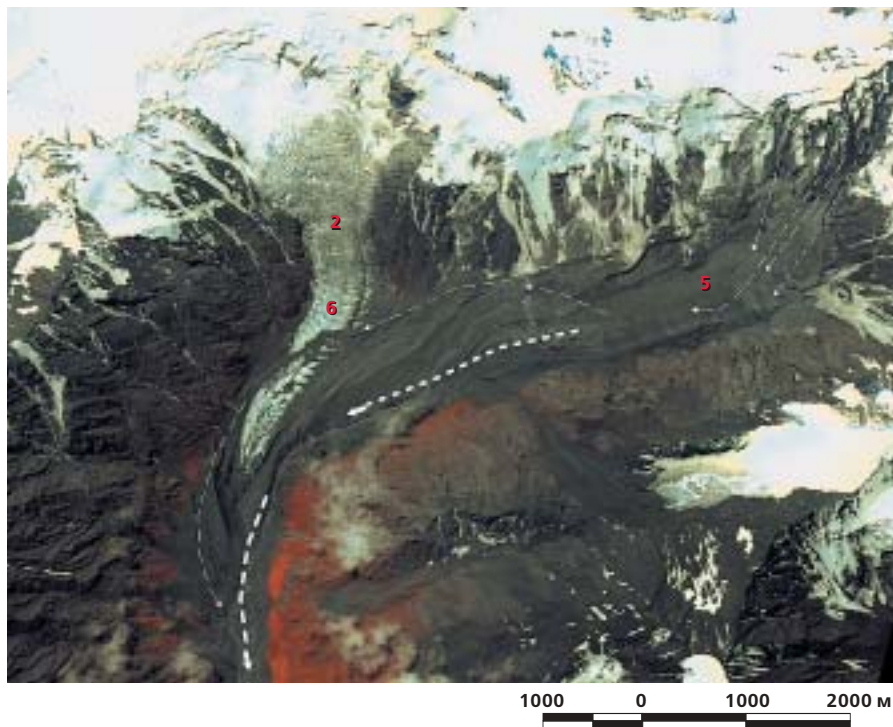
Снимок Terra ASTER, синтез  
RGB 3:2:1, пространственное  
разрешение 15 м.  
Дата съемки:  
22 июля 2001 г.



Фотоснимок С. Егорина, 1997 г.

- 1 – ледник Колка
- 2 – ледник Майли
- 3 – вершина г. Джимарай-хох
- 4 – висячие ледники
- 5 – вместилище ледника Колка
- 6 – след движения ледово-каменной массы по языку ледника Майли



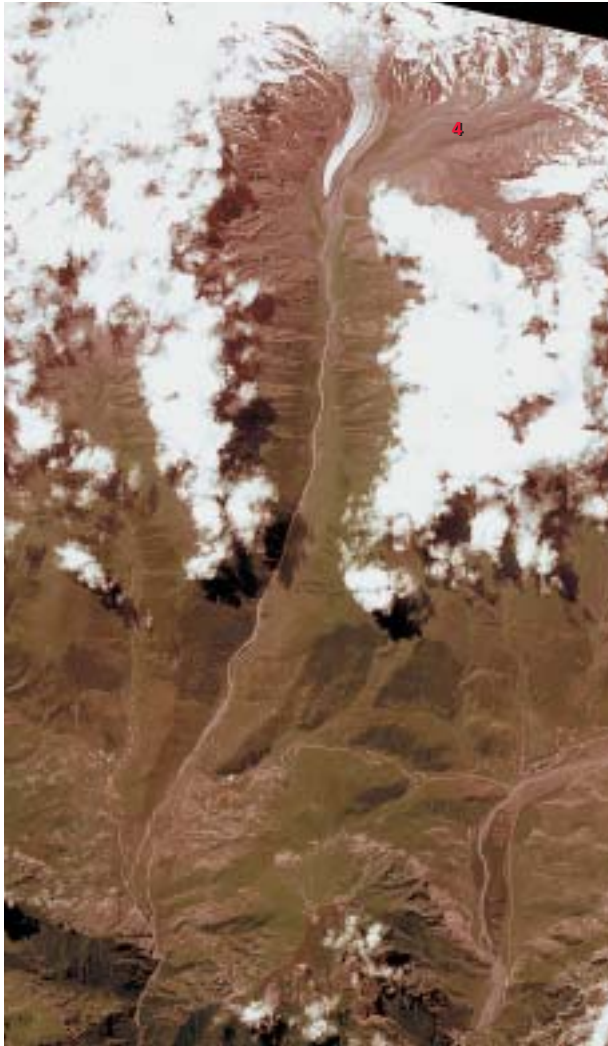


Снимок IRS-1D LISS/PAN,  
синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное  
разрешение 6 м.  
Дата съемки: 11 июля 2003 г.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc.,  
ИТЦ СканЭкс, 2003 г.



Фотоснимок А.А. Алейникова,  
17 августа 2003 г.

Изучение космических снимков помогло в реконструкции последовательности событий катастрофы. По-видимому, обрушение висячих ледников (4) обусловило вовлечение в движение масс ледника Колка (1), значительная часть которого устремилась вниз по долине (показано жирным пунктиром), ударила в орографически левый борт долины (тонкий пунктир), прошла наискосок к правому борту, перепрыгнула через боковую морену, разделяющую ледники Колка и Майли, выскочила на язык ледника Майли (2) и соединилась с основной массой. След движения ледово-каменной массы по языку ледника Майли хорошо читается на снимке IRS LISS/PAN (6).



Снимок Terra ASTER, синтез в «натуральных» цветах, пространственное разрешение 15 м.  
Долина р. Геналдон до катастрофы, 22 июля 2001 г.



Снимок IRS-1C LISS/ PAN, синтез в «натуральных» цветах. Пространственное разрешение приведено к 6 м.  
Долина р. Геналдон после катастрофы, 19 октября 2002 г.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.



- 1 – Санибанское озеро
- 2 – ледовая масса, заполнившая Кармадонскую котловину
- 3 – временные подпрудные озера
- 4 – покрытая мореной поверхность ледника Колка
- 5 – каньоны
- 6 – скальные обвалы
- 7 – временное озеро

◀ Фрагмент снимка IRS-1C LISS/ PAN, синтез RGB 3:2:1. Пространственное разрешение приведено к 6 м.  
Дата съемки: 19 октября 2002 г.  
©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002 г.

Научно-популярное издание  
**Изображения Земли из космоса: примеры применения**

Автор идеи:  
**Гершензон О.Н.**

Авторы-составители:  
**Алейников А.А., Зимин М.В., Конох О.А., Кузнецова Е.А.,  
Кузнецова (Белозерова) Е.А., Мудря Т.М.**  
при участии в подготовке отдельных разделов:  
**Герелиц О.В., Землянов И.В., Петраков Д.А., Черноморец С.С.**

Ответственный за подготовку издания:  
**Ипполитов В.Ю.**

Дизайн, верстка, pre-press:  
**Шурупова Е.Г.**

Также использованы фотографии **Кузнецовой (Белозеровой) Е.А.,  
Парамонова Д.А., Сидоренко Д.Л., Фроловой Н.Л., Черноморца С.С.**

**Инженерно-технологический центр СканЭкс**  
119021, Москва, ул. Льва Толстого, 22/5  
**Тел.:** +7 (095) 246-3853, +7 (095) 939-5640  
**Факс:** +7 (095) 246-2593, +7 (095) 939-4284  
**www.scanex.ru • info@scanex.ru**