

ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА:
ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПРИРОДООХРАННЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ





**ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА:
ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПРИРОДООХРАННЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ**

Научно-популярное издание

Москва 2005

Ответственный редактор:
доктор биологических наук **А.А. Маслов**

Изображения Земли из космоса: примеры использования природоохранными организациями: Научно-популярное издание – М.: ООО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «СКАНЭКС», 2005. – 40 с.: ил.
ISBN 5-9900182-4-X

Издание продолжает серию публикаций Инженерно-технологического центра «СканЭкс», посвященную различным аспектам работы со снимками Земли из космоса. Данный выпуск рассказывает об опыте применения космических снимков в работе российских природоохранных организаций: Международного социально-экологического союза, Центра охраны дикой природы и Гринпис России. Тематика выпуска охватывает широкий круг задач. Среди них – проекты по картированию малонарушенных лесных территорий России, выделению гнездовых местообитаний кулика гаршнепа, уточнению границ водно-болотного угодья «Дельта Волги». В решении всех этих задач применение материалов космической съемки сыграло решающую роль. Очевидно, что работа с изображениями Земли из космоса в последние годы стала обычным инструментарием в практике не только крупных государственных или частных институтов, но и некоммерческих природоохранных организаций.

Издание предназначено для широкого круга читателей, интересующихся применением спутниковых изображений для решения задач охраны природы.

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.

Уважаемые коллеги!

Предлагаем вашему вниманию вторую книгу из серии научно-популярных изданий ИТЦ «СканЭкс», посвященных различным аспектам работы с изображениями Земли из космоса. В первой книге серии — «Изображения Земли из космоса: примеры применения» (2005) — мы рассказали об основных областях применения космических снимков Земли. В дальнейших выпусках наши партнеры — пользователи космической информации — расскажут об опыте применения снимков в конкретных проектах.

Основные авторы данной книги — сотрудники российских природоохранных организаций: Международного социально-экологического союза, Центра охраны дикой природы и Гринпис России. Эти организации уже давно и успешно используют снимки Земли из космоса в реализации проектов по сохранению лесов, охране редких видов растений и животных, управлению особо охраняемыми природными территориями.

Оригинальные подходы, отличное владение ГИС-технологиями, практическая ориентация проектов — то, что позволило российским природоохранным организациям выйти на передовые позиции в области применения данных дистанционного зондирования Земли. Многие их проекты получили заслуженное признание профессионалов.

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 быстро обрабатывать эту информацию.

Представленные в книге проекты — разные по тематике и масштабам исследований. Так, проект картирования малонарушенных лесных территорий России имел глобальный характер, подробно опубликован ранее и особо отмечен на российском и международном уровне. А небольшая работа по рубкам в реликтовой роще из самшита может считаться пилотной. Однако в решении всех этих задач применение материалов космической съемки сыграло решающую роль. Очевидно, что работа с изображениями Земли из космоса в последние годы стала обычным инструментарием в практике не только крупных государственных или частных институтов, но и в практике природоохранных организаций.

Мы готовы предоставить консультации по интересующим вас прикладным направлениям использования спутниковых снимков, а также предоставить сами снимки и программное обеспечение, необходимое для работы.

Приглашаем вас к сотрудничеству!



СОДЕРЖАНИЕ

5	Термины и сокращения
7	Картирование малонарушенных лесных территорий России (Д.Е. Аксенов, П.В. Потапов, М.Ю. Дубинин, А.Ю. Ярошенко)
15	Выделение гнездовых местообитаний кулика гаршнепа в Большеземельской тундре (И.Н. Поспелов, М.Ю. Дубинин)
21	Составление карт растительности на Камчатке (А.В. Егоров, Д.Е. Аксенов, Е.С. Есипова, М.Л. Карпачевский, Г. Райгородецкий)
27	Выявление долгосрочных антропогенных изменений лесного покрова Канады (М.Ю. Дубинин, Д.Е. Аксенов)
33	Оценка ущерба от незаконных рубок в лесах с реликтовым самшитом (М.Ю. Дубинин, М.В. Плотников)
37	Создание картографической основы для уточнения границ водно-болотного угодья «Дельта Волги» (М.Ю. Дубинин, А.В. Хмелевский)

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)



КАРТИРОВАНИЕ МАЛОНАРУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

Представление о лесах России как о бескрайних просторах нетронутой дикой природы часто встречается в прессе и даже среди специалистов. На самом деле от нетронутой тайги остались лишь фрагменты дикой природы, отделенные друг от друга антропогенно нарушенными пространствами. Промышленные лесозаготовки и сопровождающие их лесные пожары, расширение площадей сельскохозяйственных угодий, дорожное строительство, добыча полезных ископаемых — вот основные причины фрагментации и трансформации лесов России.

Малонарушенные лесные территории — это крупные (более 50 тысяч га) целостные природные территории в пределах лесной зоны, не имеющие внутри постоянных поселений, действующих транспортных коммуникаций и не затронутые современной интенсивной хозяйственной деятельностью. Размер и структура таких территорий обеспечивают устойчивое существование жизнеспособных популяций крупных хищных животных и сводят к минимуму влияние краевых эффектов. Такие ландшафты, как правило, образованы мозаикой разнообразных экосистем (в том числе — нелесных) и характеризуются естественной динамикой пожаров.

Целью работы по картированию было создание общедоступного атласа сохранившихся малонарушенных лесных территорий в отдельных регионах страны и в целом по России. Такие данные крайне необходимы, в частности, для создания новых особо охраняемых природных территорий. Карты малонарушенных лесных территорий необходимы также лесопромышленным компаниям, которые не хотят приобретать древесину, заготовленную в таких лесах.

Основу подхода, использованного для выявления малонарушенных лесных территорий, составляет метод «от противного». Из всей территории лесной зоны последовательно исключались явно преобразованные и нарушенные территории. При этом главную часть работы составлял анализ космических снимков разного разрешения, так как исключение нарушенных территорий проводилось, в основном, по результатам дешифрирования.

Исключение нарушенных участков проводилось в три этапа — последовательным переходом от обзорных картографических материалов и космических снимков к более детальным. Использование на первых этапах менее детальных (а значит, более дешевых) материалов позволяло на каждом шаге сужать территорию поиска и применять (на очередном этапе) карты и снимки более высокого разрешения.



Этап 1

На этом этапе был проведен анализ топографических карт масштаба 1:500 000 с исключением территорий вблизи населенных пунктов и элементов транспортной инфраструктуры (включая реки шириной более 300 м). Кроме того, по картам сразу были исключены лесные массивы площадью меньше, чем 50 тыс. га. В результате для дальнейшего анализа были выделены малонаселенные ландшафты, в пределах которых отсутствовали крупные элементы инфраструктуры. Космические снимки на данном этапе не использовались.

Этап 2

На этом этапе проводился анализ космических снимков низкого разрешения. Использовались, в первую очередь, снимки камеры МСУ-СК (рис. 1) российских спутников серии «Ресурс-О1» (ширина полосы захвата — 600 км с разрешением 140 м). Прием, отбор, первичная обработка и географическая привязка снимков камер МСУ-Э и МСУ-СК, а также классификация растительности по снимкам в пределах наиболее крупных массивов лесов проведены Инженерно-технологическим центром «СканЭкс». Всего в обработку (с формированием безоблачных зимних и летних мозаик) вошла 771 полоса съемки МСУ-СК различной длины.

Дополнительно в обработку включались варианты снимков американского спутника Landsat 7 ETM+ с уменьшенным до 300 м разрешением. Основным методом анализа космических снимков было экспертное дешифрирование нарушенных хозяйственной деятельностью участков лесных территорий. На этом этапе из дальнейшего анализа была исключена большая часть пахотных земель, а также массивы сплошных рубок последних десятилетий. Были исключены и фрагменты потенциально малонарушенных территорий, площадь которых оказалась менее 50 тыс. га. Итогом второго этапа работы стала предварительная карта малонарушенных лесных территорий бореального пояса России.

Этап 3

Задачей третьего, заключительного, этапа работы было исключение нарушенных территорий и получение окончательных границ малонарушенных лесов на основе анализа космических снимков среднего разрешения. Использовались снимки Landsat 7 ETM+ с разрешением 30 м, Terra ASTER с разрешением 15 м и «Ресурс-О1» МСУ-Э с разрешением 35 м. На рис. 2 показаны группы природных и антропогенных объектов, достаточно четко выделяемые на снимках среднего разрешения Landsat 7 ETM+. Это — темнохвойные и сосновые леса без признаков нарушений, вторичные лиственные леса по гарям и вырубкам, свежие вырубки, населенные пункты и объекты инфраструктуры.

Две части рис. 3 отражают процесс конвертации исходного снимка среднего разрешения в карту. Слева показан исходный снимок, справа — границы выделенных на его основе контуров малонарушенных лесных территорий. Интерпретация снимков проводилась путем ручного экспертного дешифрирования нарушенных территорий и отдельных нарушений. Всего было использовано 1470 снимков Terra ASTER и 262 снимка Landsat 7 ETM+.

Точность выходных карт малонарушенных лесных территорий отличается по различным регионам России, так как она во многом определялась доступностью снимков среднего разрешения на те или иные территории (рис. 4). С наибольшей точностью выполнены карты для севера европей-



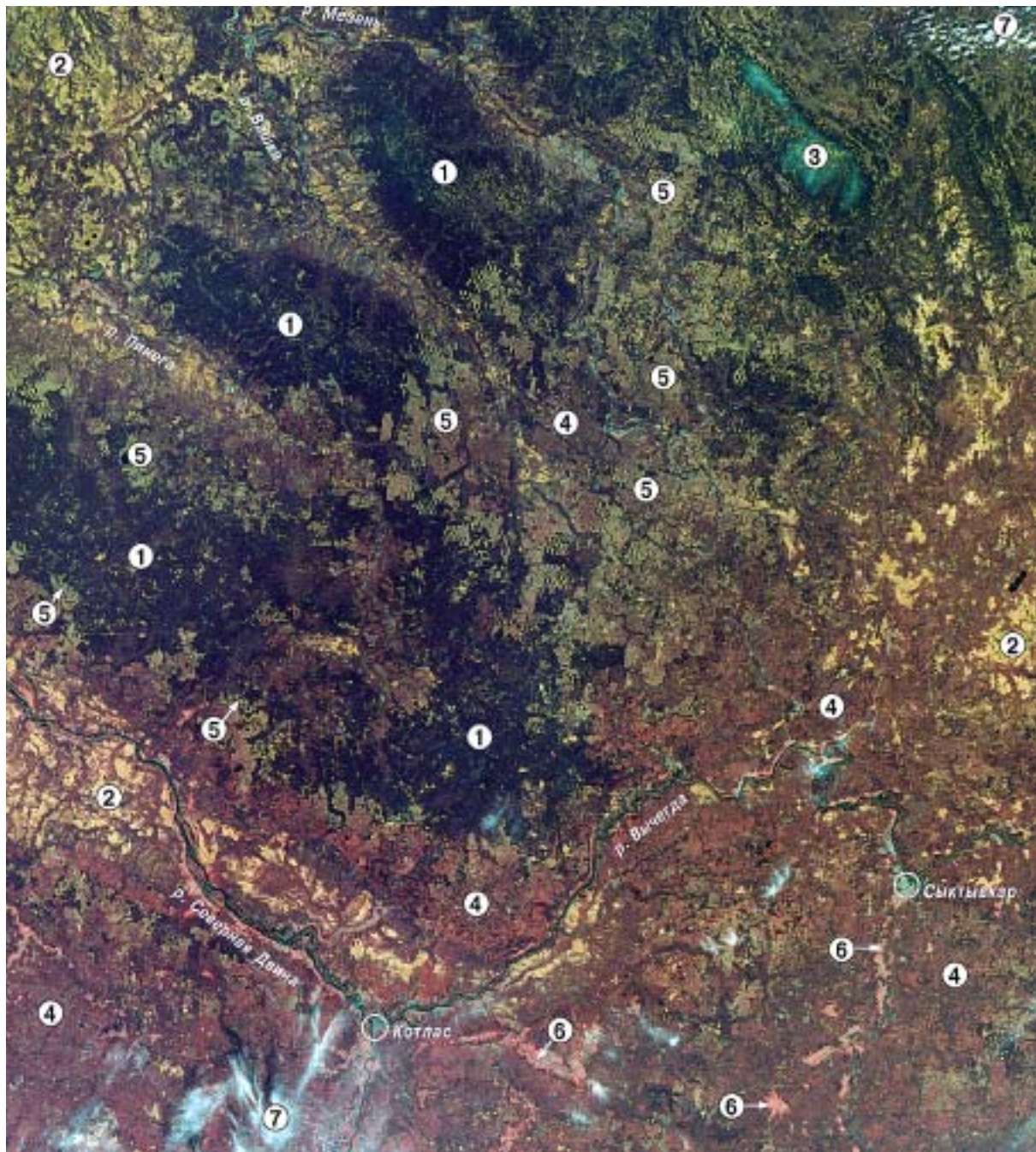


Рис. 1. Природные и антропогенные объекты, определяемые по космическим снимкам Ресурс-О1 МСУ-СК. Архангельская область и Республика Коми (бассейн Северной Двины и Мезени). Пространственное разрешение 140 м. Дата съемки: 06 июня 1997 года.

- 1) Хвойные леса без признаков антропогенного нарушения.
- 2) Болота.
- 3) Низкогорные разреженные леса (в момент съемки лежит снег).
- 4) Вторичные лиственные, смешанные и сосновые леса на освоенных территориях.
- 5) Массивы свежих вырубок.
- 6) Сельскохозяйственные земли.
- 7) Облака.



ской России, где использовались космические снимки среднего разрешения и данные многочисленных полевых исследований (173 ключевых участка). Наименее точными являются результаты для отдельных районов севера Сибири и Дальнего Востока. Здесь, с одной стороны, применялись снимки низкого разрешения; и, с другой стороны, небольшим был объем полевых исследований. Таким образом, третий этап работы в этих районах, по сути, не применялся.

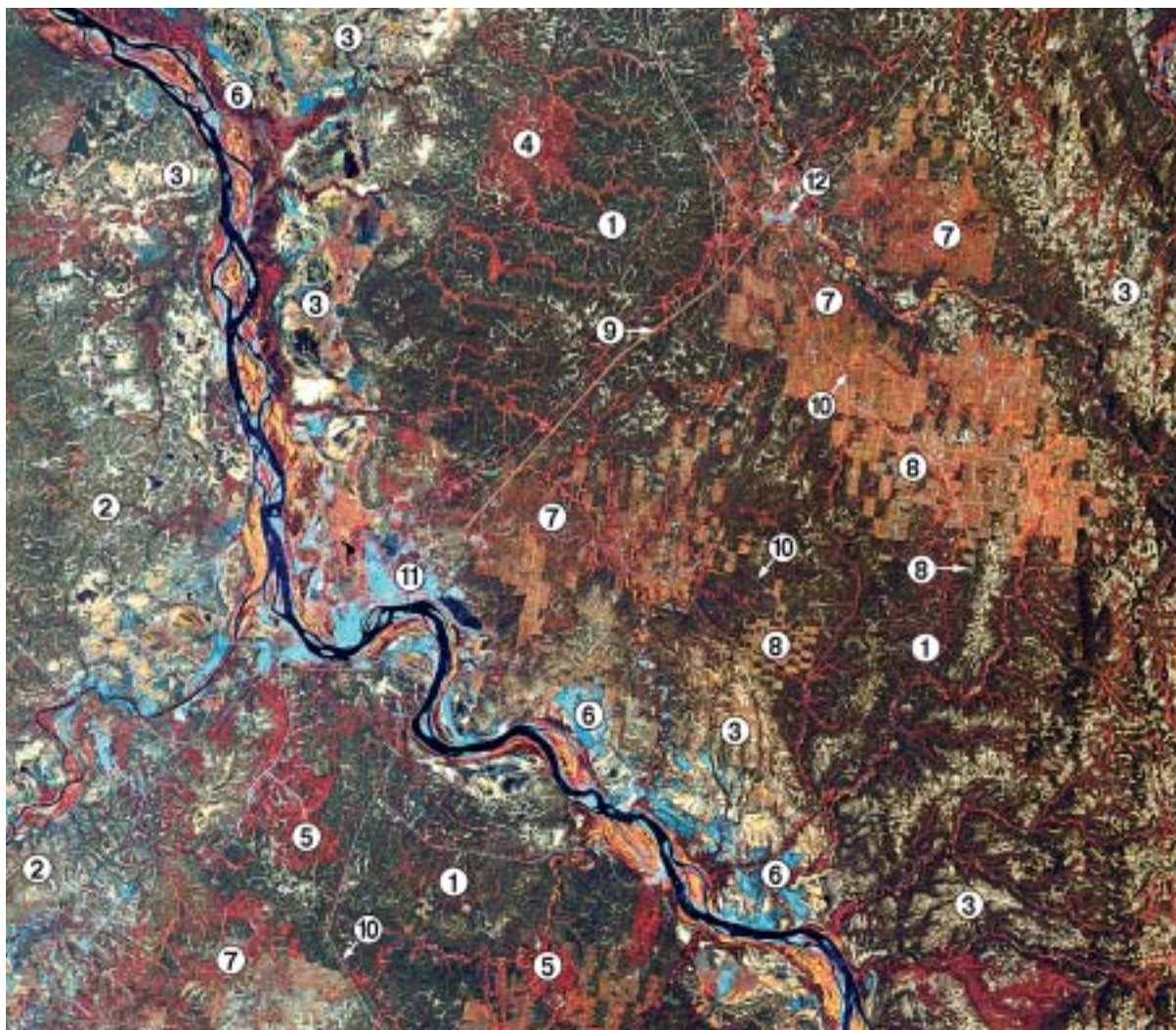


Рис. 2. Природные и антропогенные объекты, определяемые по летним снимкам Landsat 7 ETM+. Республика Коми, среднее течение реки Печоры. Пространственное разрешение 30 м. Дата съемки: 26 июня 2000 года.

- 1) Темнохвойные леса без признаков нарушений.
- 2) Сосновые леса.
- 3) Болота.
- 4) Вторичные лиственные леса по гарям за пределами современной антропогенной инфраструктуры.
- 5) Вторичные лиственные леса по гарям вблизи объектов антропогенной инфраструктуры.
- 6) Гари в сосняках.
- 7) Вторичные лиственные леса на месте старых вырубок.
- 8) Относительно свежие вырубki.
- 9) Железная дорога.
- 10) Автодороги с покрытием.
- 11) Город Печора.
- 12) Мелкие населенные пункты.

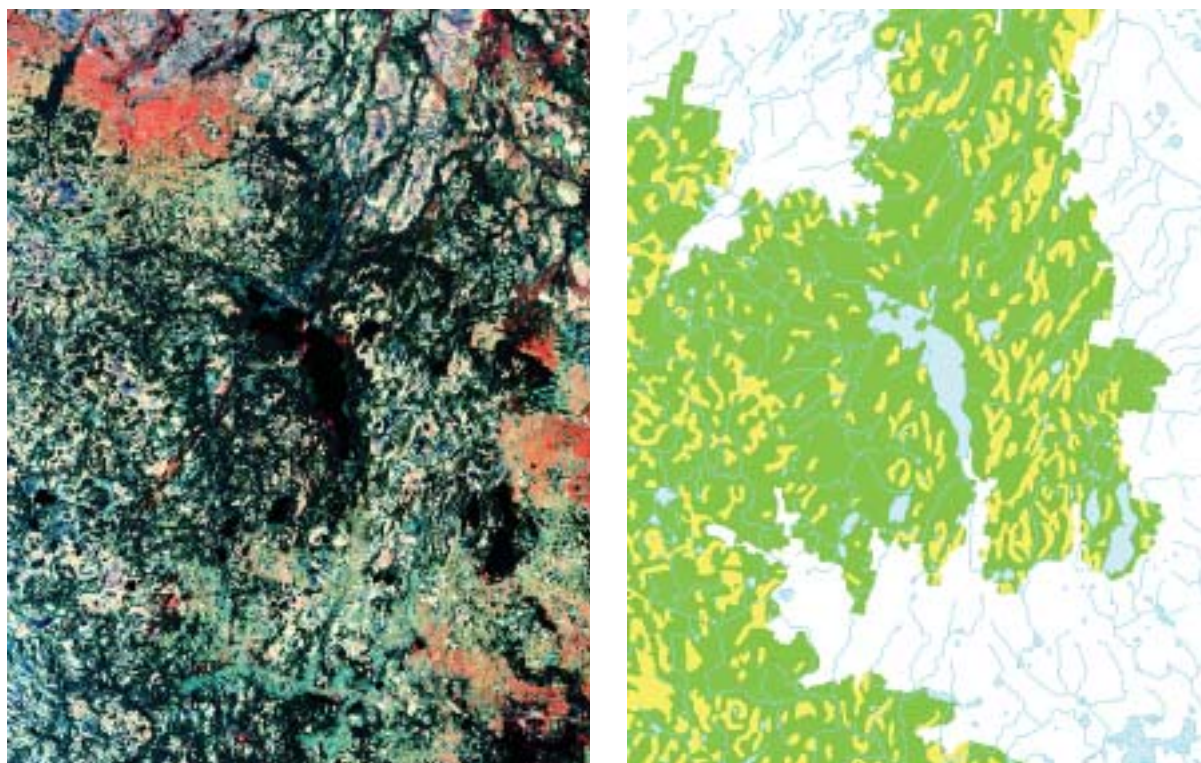


Рис. 3. Космический снимок Landsat 7 ETM+ (слева) и построенная на его основе карта (справа). Архангельская область.

В целом, трехэтапный характер работы отражает карта, представленная на рис. 5. На этой карте различным цветом показаны территории лесной зоны, исключенные на первом, втором и третьем этапах работы, и выявленные в результате оставшиеся малонарушенные лесные территории.

Окончательным итогом работы стала публикация «Атласа малонарушенных лесных территорий России» (2003). Обзорная карта лесов из этого атласа показана на рис. 6. Итоговые карты, как правило, отражают состояние местности на 2000 г.

Обобщение всей полученной картографической информации позволило сделать важные выводы. Площадь малонарушенных лесных территорий России, по данным на 1999–2001 г., составила около 289 млн. га (32% от всей лесопокрытой площади). При этом их распределение крайне неравномерно – почти половина всех малонарушенных лесных территорий находится в пяти сибирских регионах: Республике Саха (Якутия), Эвенкийском автономном округе, Красноярском крае, Ханты-Мансийском автономном округе и Иркутской области. Анализ сети особо охраняемых природных территорий федерального уровня (заповедников и национальных парков) России показал, что существующая система ООПТ не обеспечивает необходимого уровня защиты малонарушенных лесных территорий. Средняя доля таких территорий по регионам страны составляет 4.3%. Для сохранения больших массивов малонарушенных лесов необходима организация новых национальных парков и заповедников.

Работа выполнена группой общественных и научных организаций России в рамках проекта «Всемирная лесная вахта». Подробнее о проекте и исполнителях можно узнать на сайте <http://www.forest.ru/rus/publications/intact/index.htm>.

Малонарушенная лесная территория выделена зеленым цветом. Болота в пределах малонарушенной лесной территории нанесены на основании общегеографической карты и выделены желтым цветом.








-  — территории, для которых имелись космические снимки среднего разрешения;
-  — территории, для которых имелись только снимки низкого разрешения (в связи с чем третий этап анализа этих территорий не проводился);
-  — территории за пределами зоны исследования.

Рис. 4. Доступность космических снимков среднего разрешения на территории, оставшиеся после второго этапа анализа.








-  — территории за пределами зоны исследования (исключены в связи с недостаточным количеством информации);
-  — территории, исключенные на первом этапе анализа по топографическим картам: участки вблизи основных элементов инфраструктуры и территории площадью менее 50 тыс. га;
-  — участки, исключенные на втором этапе анализа по космическим снимкам среднего разрешения: сельскохозяйственные земли, массивы сплошных вырубок, городские и другие нарушенные земли, крупные гари, примыкающие к источникам антропогенного воздействия;
-  — участки, исключенные на третьем этапе по космическим снимкам высокого разрешения: мелкомасштабные линейные и площадные нарушения;
-  — оставшиеся малонарушенные лесные территории.

Рис. 5. Поэтапный подход, использованный для исключения нарушенных участков и выявления оставшихся малонарушенных лесных территорий.



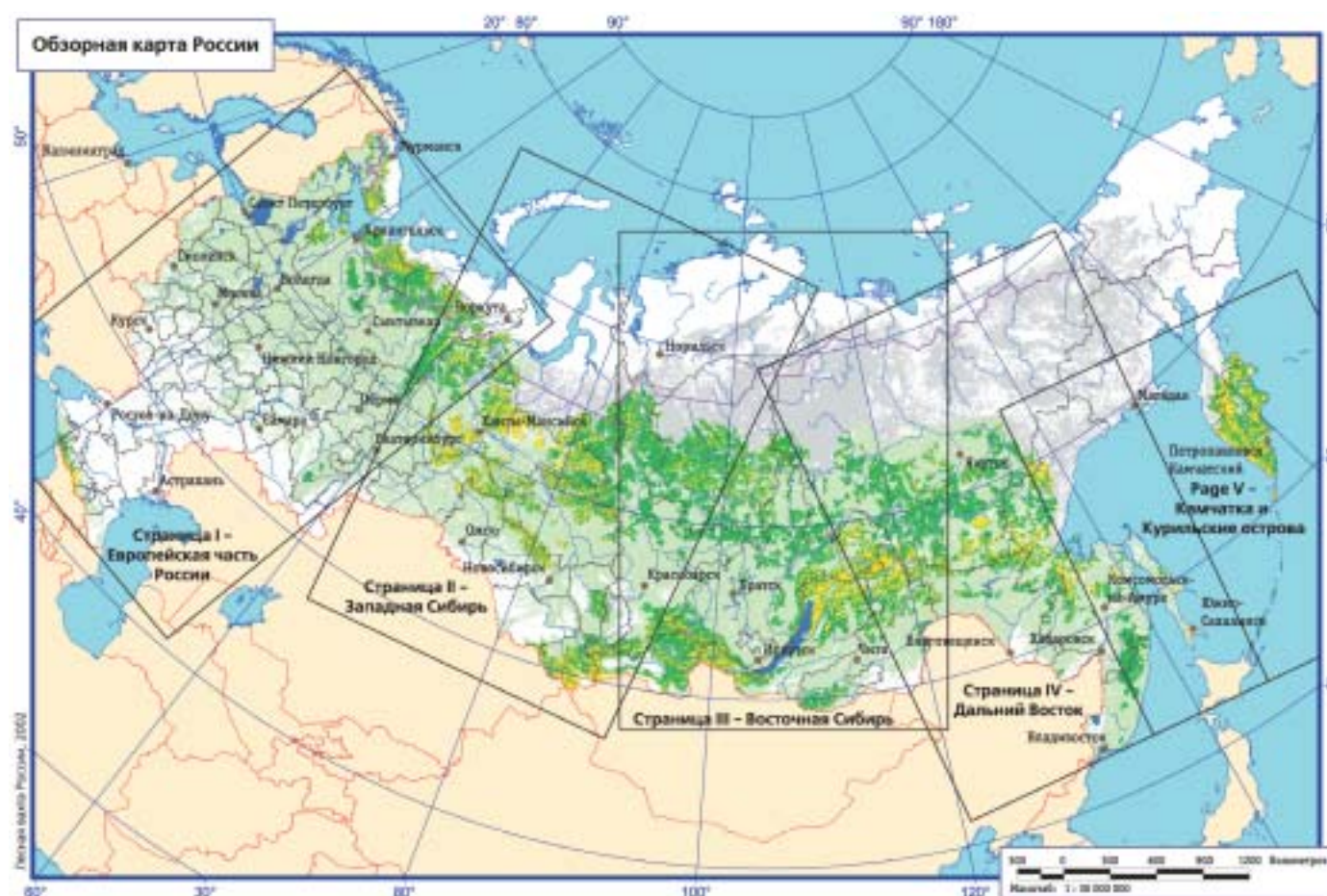


Рис. 6. Обзорная карта «Атласа малонарушенных лесных территорий России» (2003).



Малонарушенные лесные территории:

- лесные экосистемы
- нелесные экосистемы
- ▲ границы малонарушенных лесных территорий

Прочие территории:

- леса, не являющиеся малонарушенными в пределах зоны исследования
- леса за пределами зоны исследования
- территории, не покрытые лесом

- ▲ Границы особо охраняемых природных территорий федерального уровня (без охранных зон) среди заповедных природы показаны только имеющие площадь более 1000 га и включающие в себя лесные территории

Южная граница полосы приэкваториальных лесов:

- ▲ на детальных картах
- ▲ на обзорной карте и картах макрорегионов России
- Соседние страны

Водные объекты:

- океаны и моря
- озера и крупные реки на детальных картах
- озера и крупные реки на обзорной карте и картах макрорегионов России
- прочие реки

Дорожная сеть:

- ▲ железные дороги
- ▲ железные дороги узкоколейные
- ▲ автодороги с твердым покрытием
- ▲ грунтовые автодороги
- ▲ замки, полевые и лесные дороги

Административные границы:

- ▲ границы Российской Федерации на детальных картах
- ▲ границы субъектов Российской Федерации на детальных картах
- ▲ национальные границы других стран
- ▲ границы административных районов Российской Федерации

Города и отдельные населенные пункты других типов на детальных картах:

- с населением менее 10 тыс. человек
- с населением 10-50 тыс. человек
- с населением 50-100 тыс. человек
- с населением 100-500 тыс. человек
- с населением 500 тыс. - 1 млн. человек
- с населением более 1 млн. человек

- прочие населенные пункты других типов на детальных картах
- отдельные города на обзорной карте и картах макрорегионов России



Фото В.В. Морозова

ВЫДЕЛЕНИЕ ГНЕЗДОВЫХ МЕСТООБИТАНИЙ КУЛИКА ГАРШНЕПА В БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЕ

Кулик гаршнеп (*Limnocyptes minimus*, рис. 1) является одним из давно известных объектов спортивной охоты в Европе, однако численность птицы повсюду невелика, а районы ее гнездования в российской тундре и лесотундре почти не изучены. В первую очередь, это связано с ночным образом жизни и скрытностью вида, а также с тем, что насильствующая птица взлетает с гнезда только при угрозе быть раздавленной.

Несмотря на трудность обнаружения гнезд гаршнепа, известно, что в Большеземельской тундре (Ненецкий автономный округ) места гнездовий четко приурочены к участкам мохово-осоковых болот по берегам и днищам осушенных мелководных озер (рис. 2). В южной тундре такие болота обычно располагаются внутри массивов болот другого типа — полигональных и бугристых. Столь узкая экологическая приуроченность гнездовий позволяет с высокой степенью вероятности выявлять потенциальные места гнездования гаршнепа по космическим снимкам среднего разрешения. Подобного рода работа по данному виду проводилась в России впервые.

Для дешифрирования было отобрано 12 космических снимков лета 1999–2000 гг. (10 снимков ETM+ спутника Landsat 7 и 2 снимка ASTER спутника Terra). При отработке методики дешифрирования во внимание принимались следующие моменты. С одной стороны, выявляемые объекты (мохово-осоковые болота) являются достаточно контрастными, а их размеры соответствуют разрешению применявшихся снимков: 30 м на пиксель (Landsat ETM+) и 15 м на пиксель (ASTER). С другой стороны, дешифрируемые объекты обычно находятся в окружении или в комплексе с объектами, еще более контрастными. Это — водоемы и бугры болот с высокой ролью лишайников. Такие объекты обладают сильным спектральным откликом и на космическом снимке отображаются с размерами больше реальных. Так, водоем с поперечником 10–15 м на панхроматическом канале снимка ETM+ может занимать не 1 пиксель, а 3–4, что соответствует поперечнику 60×60 м. Таким образом, чисто автоматическое распознавание мохово-осоковых болот было затруднено, и итоговая работа строилась на сочетании автоматического и ручного дешифрирования (рис. 3).



Перед дешифрированием было проведено увеличение разрешения спектральных каналов снимков ETM+ с помощью панхроматического канала до разрешения 15 м на пиксель (использовалась программа Erdas Imagine 8.6, функция Resolution Merge). Это позволило создать фотопланы для работы в полевых условиях с масштабом примерно 1:50 000.

Автоматическое дешифрирование снимков проводилось в программе Erdas Imagine с помощью метода не обучаемой классификации. В результате было получено 9 вариантов классификации — с количеством классов от 15 до 25. Один из полученных вариантов классификации показан на рис 4. Вверху — исходный снимок ETM+, внизу — он же с первичной классификацией, зеленым выделены классы, соответствующие гнездовым экотопам гаршнепа, голубым — водоемы. Территория к юго-западу от большого озера в центре участка — это комплекс эталонных экотопов.

Сравнение различных вариантов классификации и оценка предварительно выделенных классов проводились непосредственно в поле. Исследователи получали на руки исходные снимки в бумажном виде и несколько вариантов классификации. Подбор количества классов осуществлялся индивидуально для каждого снимка на основании нескольких эталонных экотопов. Для обеспечения идентичности выделяемых объектов обязательно выбирались несколько эталонных экотопов на перекрытиях снимков. При этом классификация подбиралась так, чтобы совпадение объектов на перекрытиях было максимальным. Большее число классов понадобилось выделить для территорий с более сложным ландшафтом (например, на востоке территории, где присутствуют как равнинные, так и горные экотопы). В то же время, при работе с большим количеством классов происходило слишком сильное дробление выделяемого гнездового экотопа.

Спектральные характеристики полученных классов, в зависимости от конкретного снимка, имели весьма значительные отличия. Кроме того, даже в наиболее удачных классификациях часть выделенных объектов была «лишней». Так, в некоторых вариантах классификации в число потенциальных мест гнездования ошибочно попали участки плакорных лишайниковых тундр, а в других — долинные кустарники. Это обусловлено наличием подобных экотопов на эталонных участках в качестве элементов болотного комплекса —



Рис. 1. Гаршнеп (*Lymnocyptes minimus*).

Фото В.В. Морозова



Рис. 2. Бугристое комплексное болото, понижения (мочажины), кроме обводненных — гнездовые биотопы гаршнепа. Район п. Советский, южные тундры.

Фото В.В. Морозова

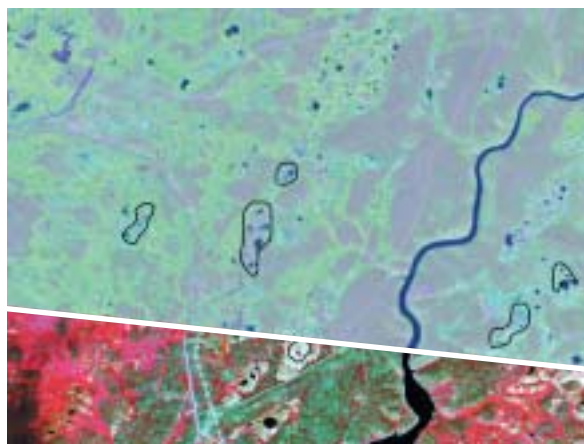


Рис. 3. Фрагмент космосъемки на район пос. Советский, где проводятся постоянные наблюдения.

Сверху — снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 3:4:5.

Пространственное разрешение 30 м.

Дата съемки: 07 июля 2000 г.

Снизу — TERRA ASTER. Пространственное разрешение 15 м.

Дата съемки: 14 июля 2000 г.

Некоторые участки с гнездовыми экотопами гаршнепа показаны черным контуром.



Различные варианты растительности гомогенного болота, на переднем плане — гигрофильномоховая мочажина (кормовой биотоп гаршнепа, хотя вероятно и гнездование), осоковые сообщества на заднем плане относятся к оптимальным гнездовым биотопам. Район п. Советский, южные тундры.

Фото В.В. Морозова

лишайниковых бугров и кустарниковых (ерниковых) бугров. Интересно, что несмотря на многократные попытки выполнить классификацию с обучением, она не дала какого-либо прироста качества результата по сравнению с обычной классификацией, что обусловлено, на наш взгляд, теми же факторами — комплексностью ландшафтных единиц, включающих гнездовой экотоп.

Как результат, финальные стадии обработки проводились вручную. Все полученные классификации были преобразованы в бинарный формат (2 класса — «да» и «нет»), объединены в единую мозаику изображений и векторизованы с помощью инструментария Erdas Imagine. Однако часть экотопов была значительно фрагментирована при классификации. Поэтому в дальнейшем проводилась операция объединения — массивы объектов, соответствующие по визуальным признакам гнездовому экотопу, выделялись и буферизовались с размером буферной зоны 25 м (приблизительный размер половины диагонали одного пикселя) с последующим объединением буферных зон, что в результате обеспечило получение единого контура (рис. 5).

Фрагмент окончательной карты потенциальных гнездовых экотопов гаршнепа в масштабе 1:100 000, приблизительно соответствующем разрешению снимка ETM+, представлен на рис. 6. Для выделенных экотопов была посчитана площадь. С помощью карт зонирования растительности Большеземельской тундры были рассчитаны площади гнездовых экотопов по зонам, подзонам и секторам растительности, а также приблизительно рассчитана численность популяции гаршнепа в этом районе.

Данная работа выполнена по инициативе Союза охраны птиц России на средства гранта французской Национальной службы охоты и сохранения фауны (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage). Полученные результаты используются французской службой при выделении квот на охоту на гаршнепа. Подробнее о проекте и использованной методологии см. на сайте: <http://gis-lab.info/projects/garshnep.html>.



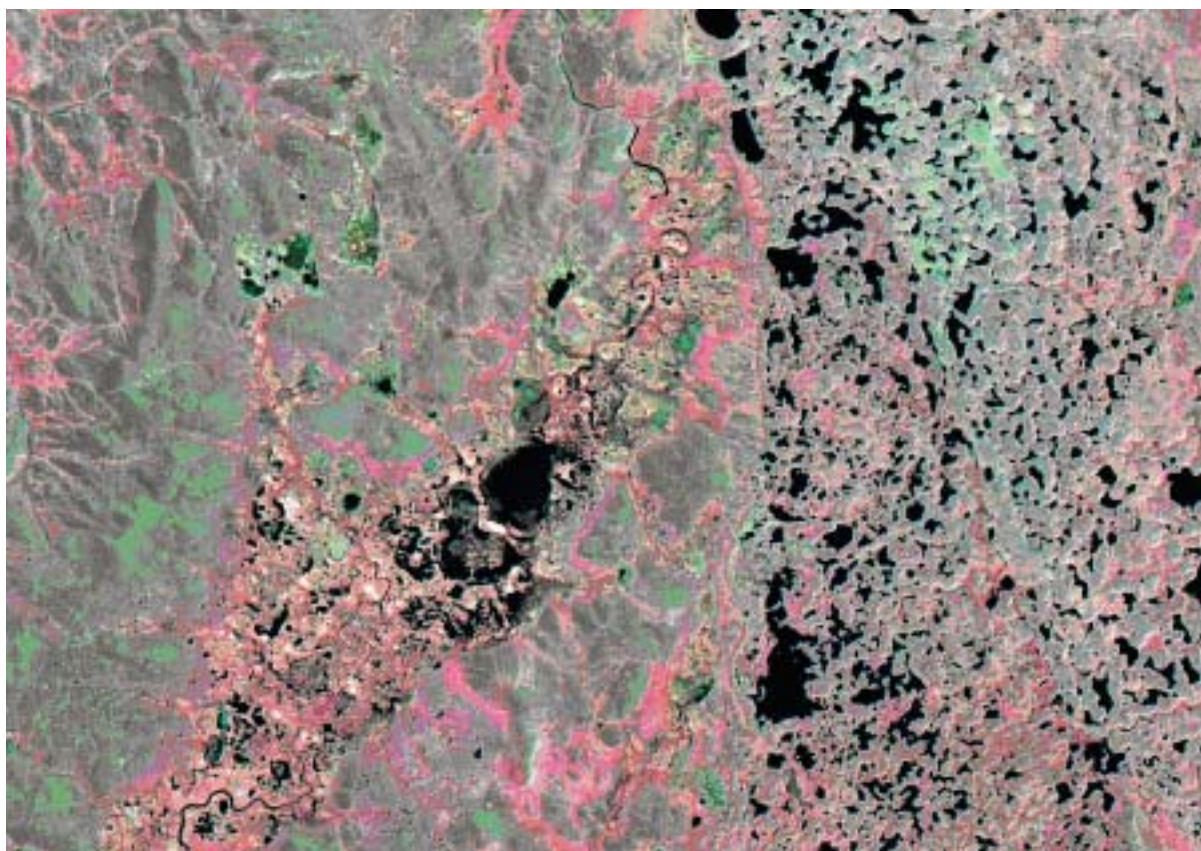
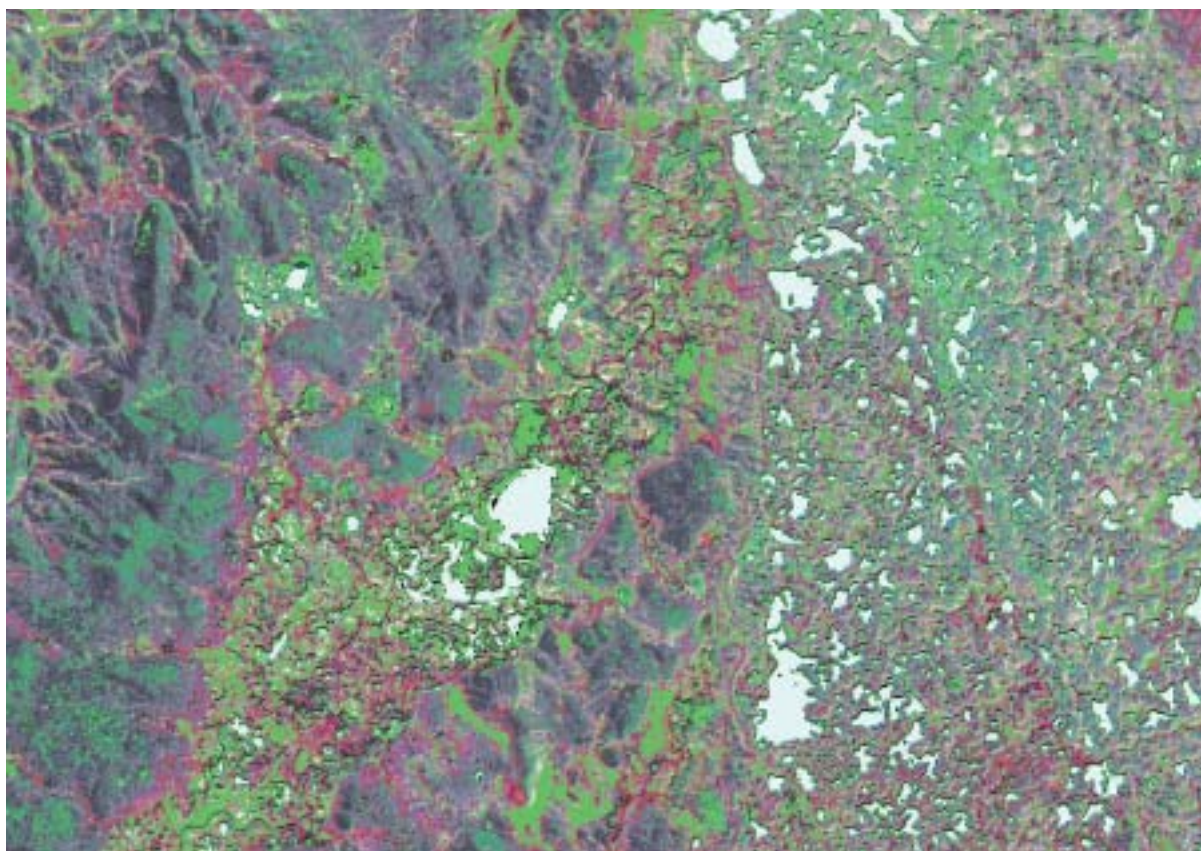


Рис. 4. Вверху — исходный снимок Landsat 7 ETM+. Синтез RGB 3:4:6. Пространственное разрешение 30 м.
Внизу — он же с первичной классификацией.

Зеленым выделены классы, соответствующие гнездовым экотопам гаршнепа, голубым — водоемы.
Территория к юго-западу от большого озера в центре участка — комплекс эталонных экотопов



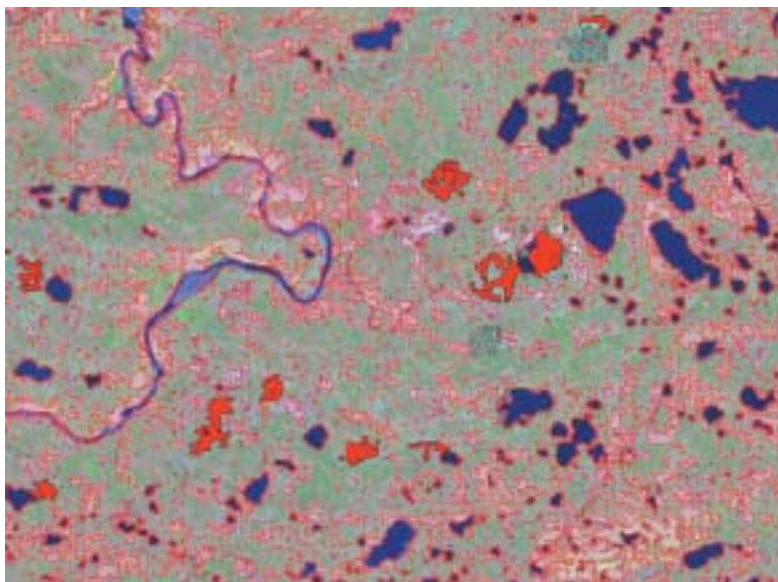


Рис. 5. Векторизованные результаты и последующая обработка (буферизация) полученной классификации.

Выделяются участки, соответствующие гнездовым экотопам, которые буферизуются со слиянием.

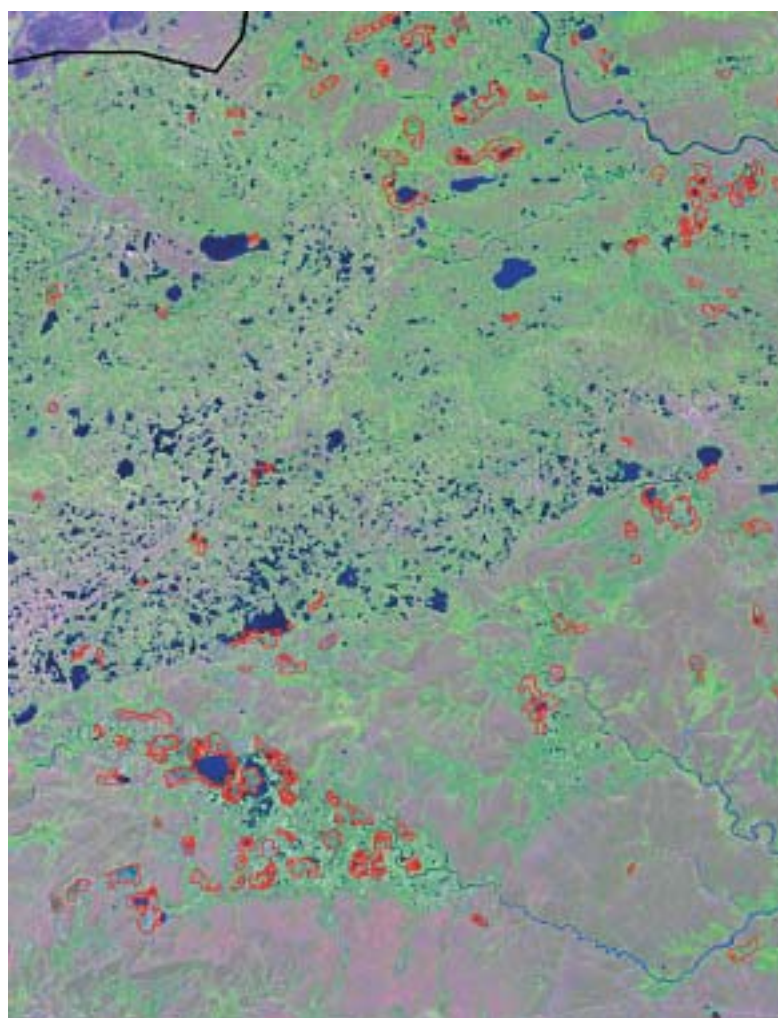
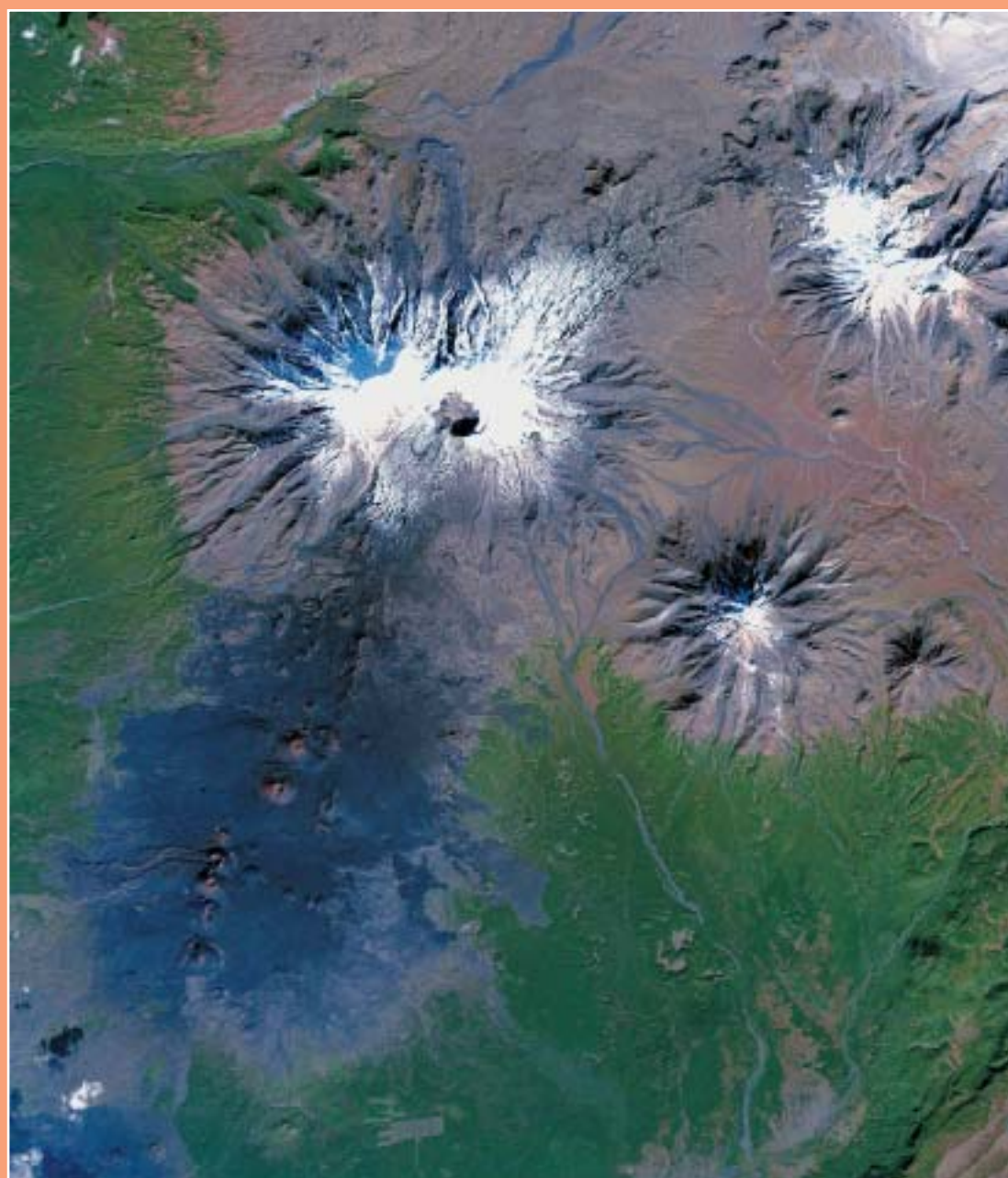


Рис. 6. Фрагмент окончательной карты потенциальных гнездовых экотопов гаршнепа в масштабе 1:100 000, приблизительно соответствующем разрешению снимка Landsat 7 ETM+.





СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА КАМЧАТКЕ



Составление или обновление карт растительности — одна из задач, эффективно решаемых с помощью съемки из космоса в сочетании с наземным обследованием территории. Актуальность задачи связана с тем, что большинство карт растительности на территории России было составлено в шестидесятые-семидесятые годы XX века, и в настоящее время эти карты существенно устарели. Особенно быстрые изменения растительных сообществ характерны для Камчатки, где к обычным факторам нарушений бореальной зоны (пожары и рубки) присоединяются вулканические процессы.

Материалы раздела иллюстрируют ход выполнения двух проектов по созданию карт растительности Кроноцкого государственного заповедника и Быстринского природного парка Камчатской области. Составление карт являлось одним из этапов выявления потенциально пригодных мест обитания охотничьих животных. В дальнейшем эти же карты были использованы в проекте по сохранению камчатских бурых медведей.

Карта растительности изготовлена на основе мультиспектральных космических снимков среднего разрешения Landsat 7 ETM+ (6 спектральных каналов, разрешение 30 м на пиксель — рис. 1) и Terra ASTER (3 спектральных канала, разрешение 15 м на пиксель).

Для получения корректных результатов дешифрирования в условиях горного рельефа была проведена топографическая нормализация в системе Erdas Imagine. Такая нормализация позволяет искусственно выровнять уровни освещенности на южных (с избытком света) и северных (затененных) склонах. Для этого имитируется освещение затененных склонов дополнительным источником света. Топографическая нормализация проводилась на основе цифровой модели рельефа, созданной по горизонталям и высотным отметкам топокарты масштаба 1:200 000.

Подбор типичных ключевых участков для наземного описания осуществлялся на основе визуального анализа снимков Terra ASTER. В число важнейших критериев для выбора ключевых участков входили следующие: хорошо различимые на снимках цветовые характеристики; значительная площадь (для исключения краевых эффектов); высокая однородность

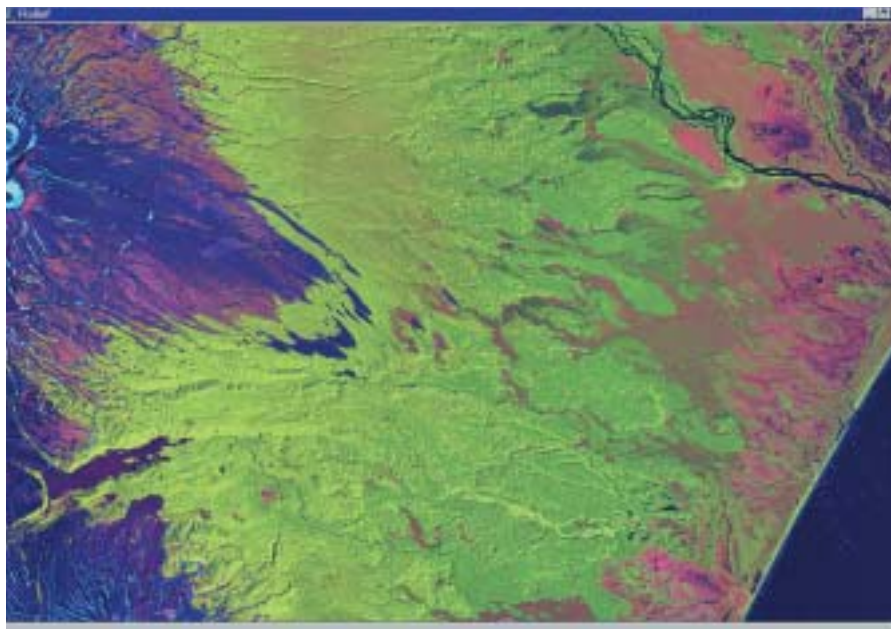


Рис. 1. Исходный космический снимок Landsat 7 ETM+ на участок территории Кроноцкого государственного биосферного заповедника. Дата съемки: 06 сентября 2000 г. В левой части снимка — вулкан Крашенинникова.

на всей площади; четкие границы, хорошо различимые на снимке и на местности. Переходные и промежуточные сообщества не описывались. В ходе полевых работ было выполнено описание ключевых участков методом пробных площадей с составлением геоботанических описаний размером 10×10 м в травяных и стланиковых сообществах, 20×20 м — в лесных сообществах.

В камеральных условиях для описанных ключевых участков по снимкам строился спектральный профиль (зависимость отражающей способности объектов от длины волны — канала мультиспектрального снимка). Таким способом определялся вес каждого канала в предстоящем дешифрировании. Наибольший вес присваивался тем каналам, для которых степень различий между классами ключевых объектов была максимальна.

Автоматическое дешифрирование проводилось в программе ScanEx NeRS (Neural Raster Interpretation System), разработанной Инженерно-технологическим центром «СканЭкс». Для выделения тематических классов программа использует метод искусственных нейронных сетей. Калибровка производилась методом обучения на наиболее «четких» (типичных) участках растительности или минеральных поверхностей, которые были выделены на предыдущем этапе. Таким образом, была получена обученная нейронная сеть, способная классифицировать целый снимок, относя каждый пиксель к тому или иному классу.

Для более точного разделения исходного снимка на ограниченное число классов исходное изображение классифицировалось вначале на заведомо избыточное число классов — 225 (рис. 2). Затем близко расположенные нейроны объединялись в группы. Значительный избыток классов в результате первичного дешифрирования (225 против 13 в конечной легенде) позволил с наименьшей ошибкой определить границу между близкими по своим спектральным характеристикам объектами. Сначала таким близким объектам присваивался одинаковый цвет (рис. 3), затем производилось объединение объектов с одинаковым цветом в один класс (рис. 4).



Полученные результаты дешифрирования нескольких снимков объединялись в общую карту. После этого проводилось удаление статистически недостоверных объектов (недостоверными условно считались объекты диаметром около 3 пикселей и менее, что соответствует площади в 1 га). Для этого растровое изображение обрабатывалось фильтром, который заменяет класс объекта малой площади на класс растительности, преобладающий в окружении. На конечном этапе подготовленные растровые изображения векторизовались, и номера в классах легенды заменялись текстовыми описаниями (рис. 5, 6).

Работа выполнена по инициативе и при финансовой поддержке «Общества сохранения диких животных» (www.wcs.org).



Рис. 2.
Классификация исходного изображения в программе ScanEx NeRIS.

Объекты, обладающие сходными признаками, отображаются близкими цветами. Объекты, обладающие промежуточными характеристиками (смешанные объекты), отображаются переходными оттенками. Отрезками соединяются наиболее близкие по своим свойствам объекты.

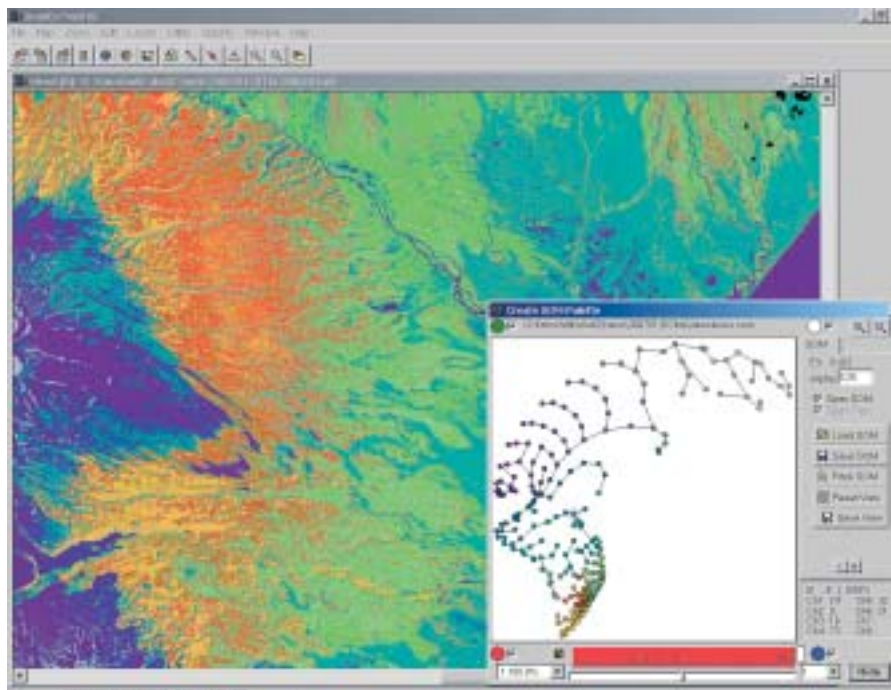
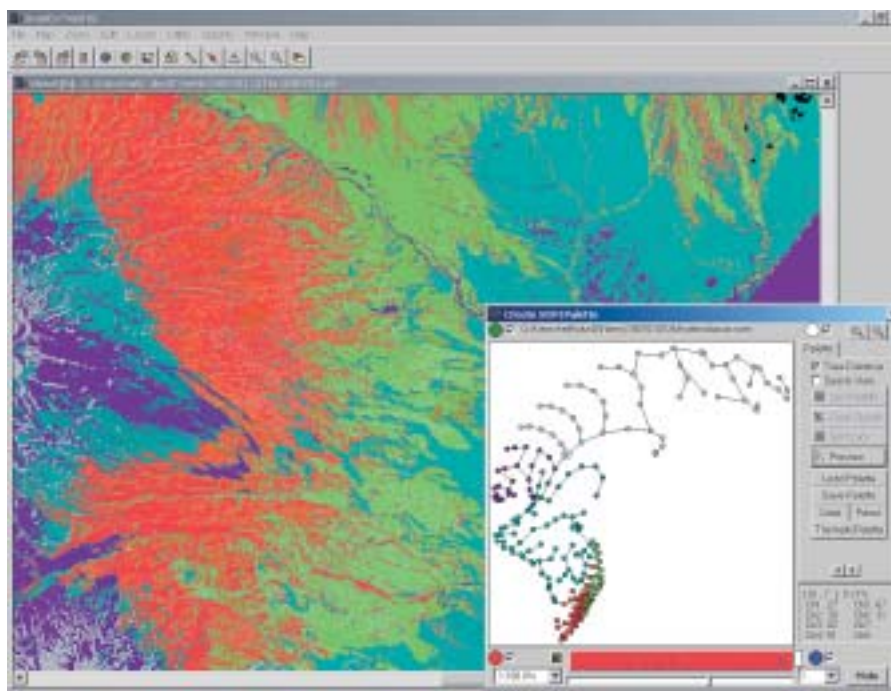


Рис. 3.
Упрощение результатов первичной классификации.

Близко расположенным (сходным) классам присвоен одинаковый цвет. Переходные классы отнесены к одному из «основных» классов.



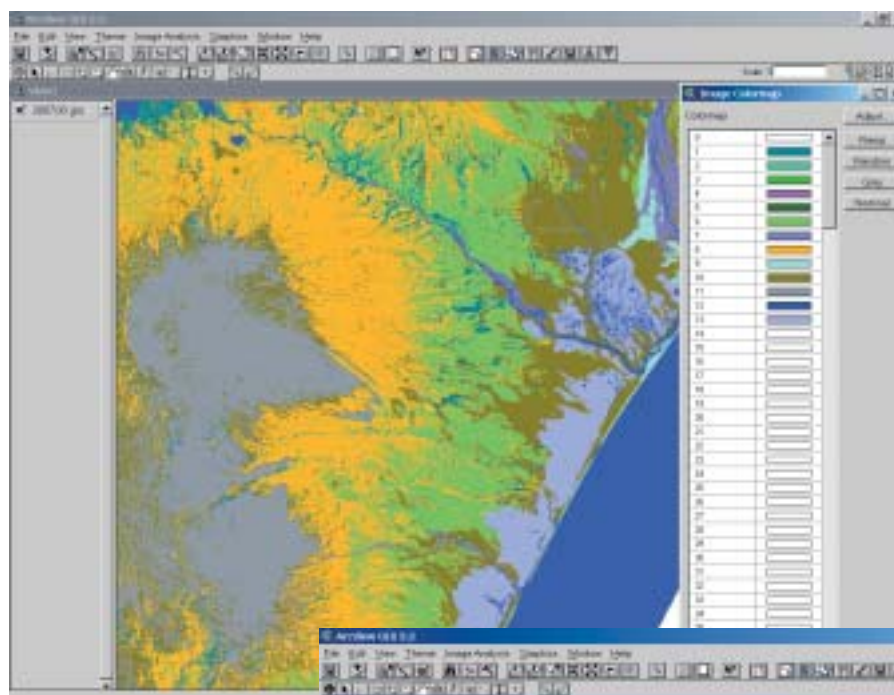


Рис. 5. Векторизация выделов и составление текстовой легенды.

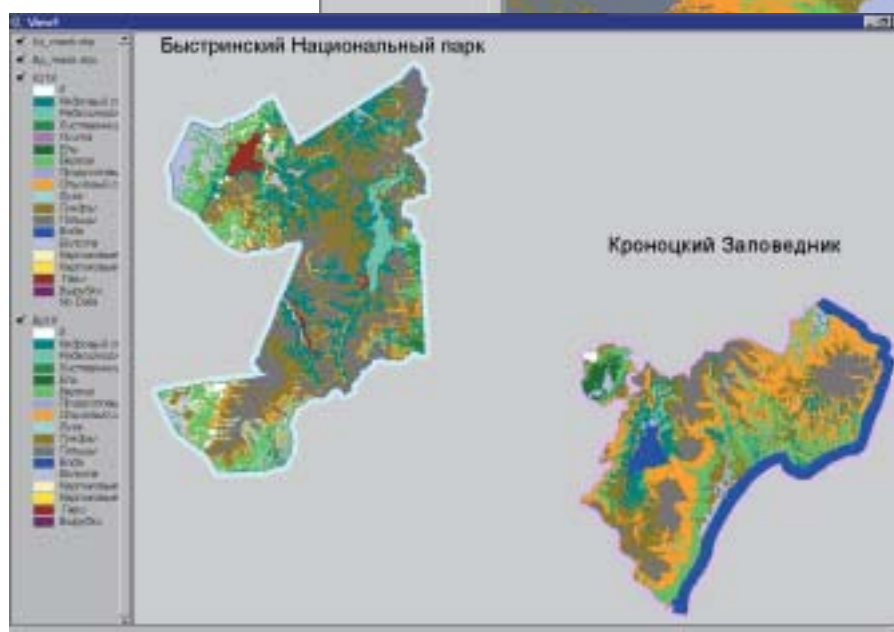
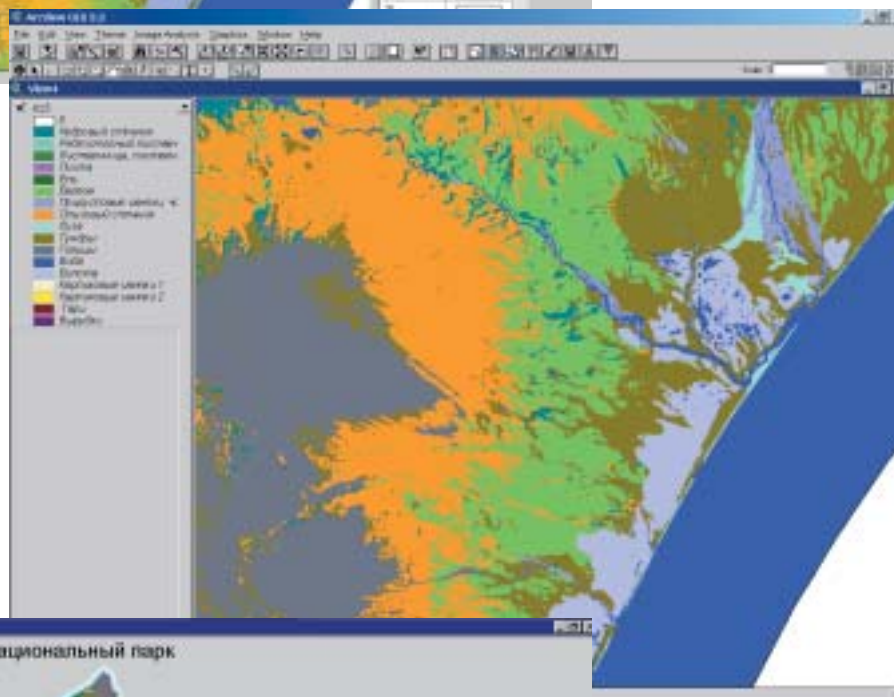
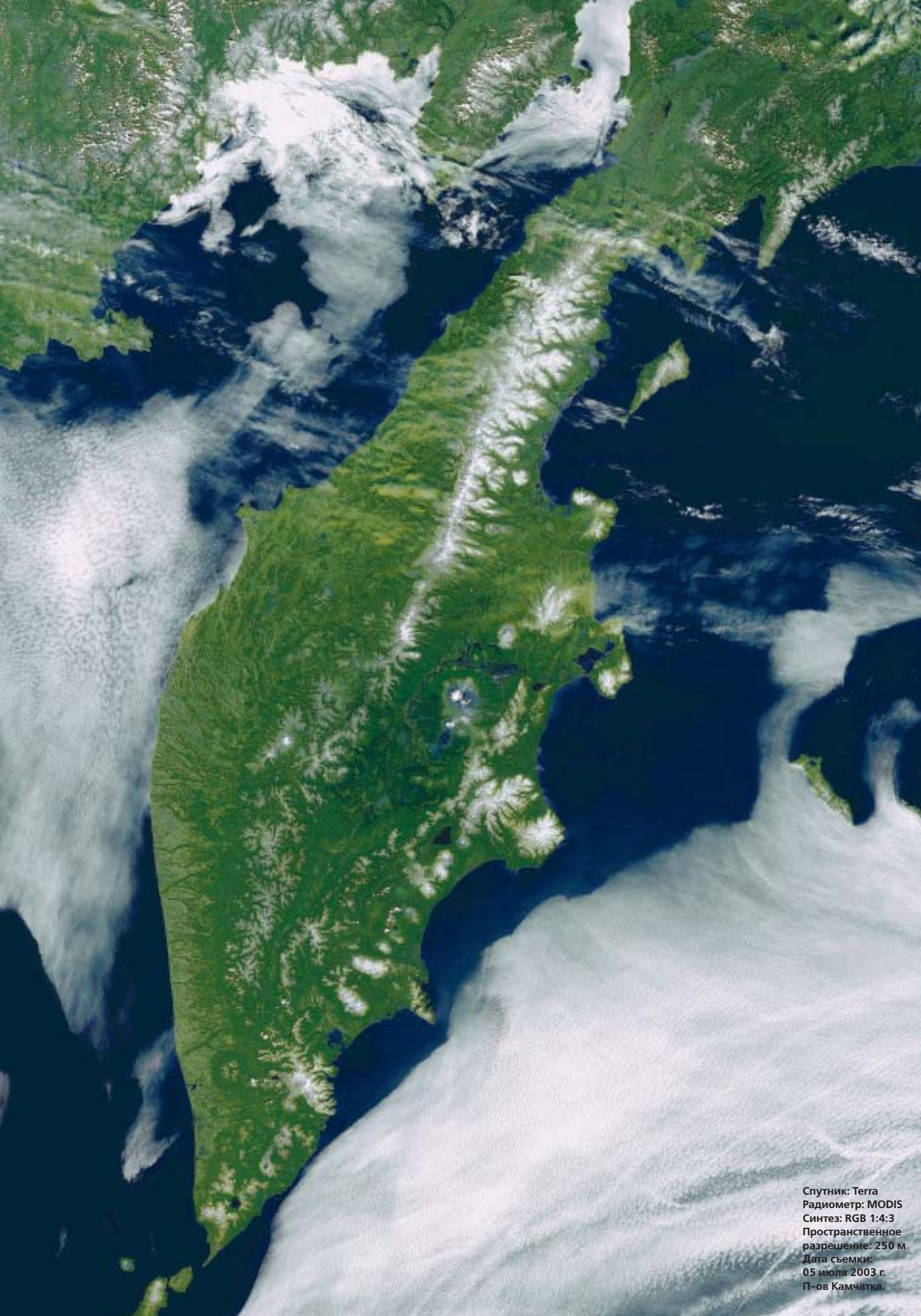


Рис. 6. Итоговые карты растительности Кроноцкого государственного биосферного заповедника и Быстринского природного парка.



Спутник: Terra
Радиометр: MODIS
Синтез: RGB 1:4:3
Пространственное разрешение: 250 м
Дата съемки: 05 июля 2003 г.
П-ов Камчатка.

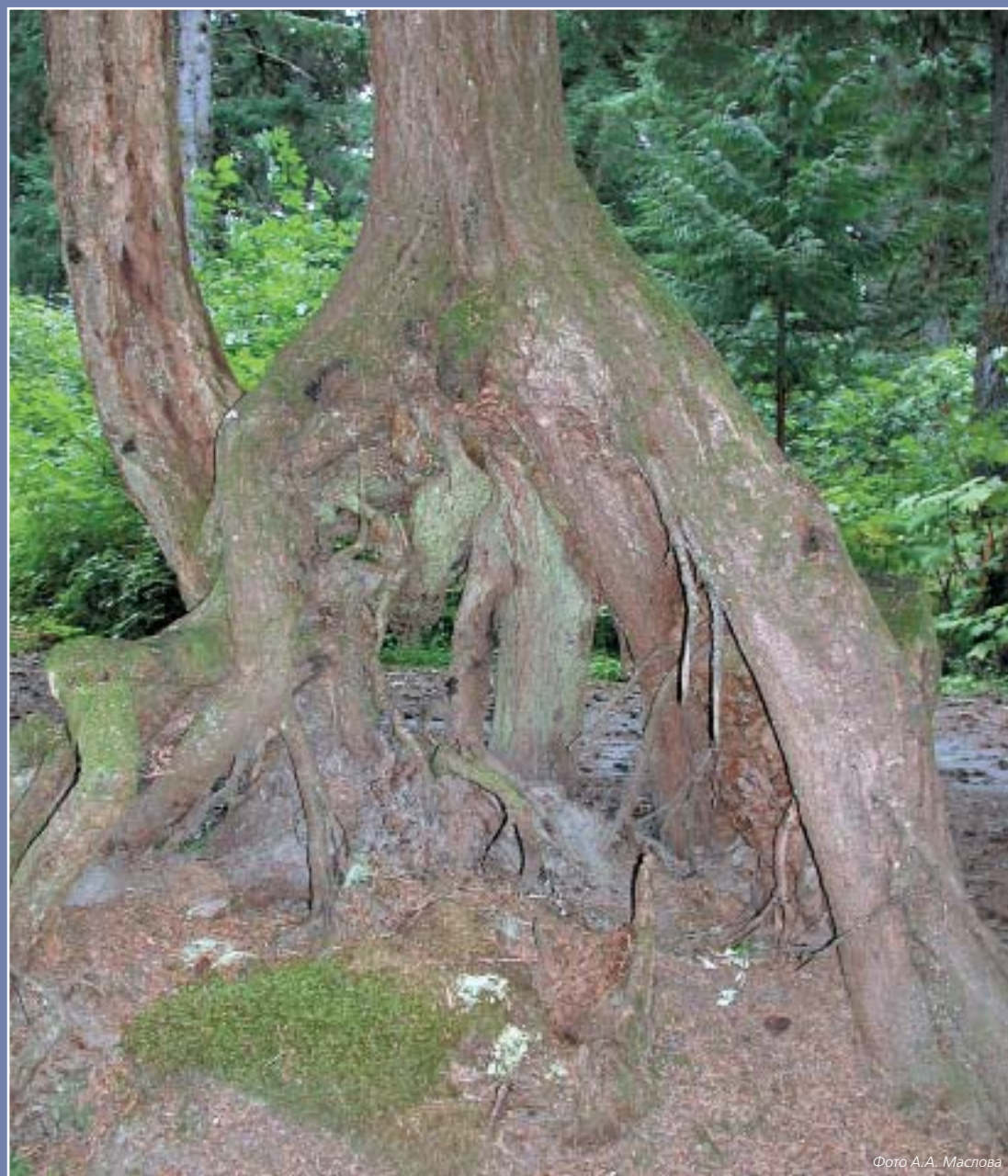


Фото А.А. Маслова

ВЫЯВЛЕНИЕ ДОЛГОСРОЧНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА КАНАДЫ

Антропогенные изменения лесных территорий (в результате промышленных рубок, строительства дорог, эксплуатации полезных ископаемых) — это существенный компонент глобального воздействия человека на природные экосистемы. В этой связи большое значение приобретают исследования по выявлению территорий с наиболее быстрыми изменениями лесного покрова. Показатели скорости рубок можно рассматривать в качестве индекса антропогенного пресса на природные территории в рамках отдельных ландшафтных или политико-административных единиц.

Группа картирования обезлесивания (Центр изучения растительного покрова, Университет Мериленд, США) совместно с Центром охраны дикой природы (Москва) провели картирование антропогенных нарушений части бореальных лесов Канады. Целью проекта являлась оценка объемов и масштабов вырубок леса на территории «бореальной равнинной экозоны» (согласно канадской классификации).

Территория «бореальной равнинной экозоны» Канады включает обширные лесные территории с континентальным климатом в пределах провинций Британская Колумбия, Альберта, Саскачеван и Манитоба. Преобладающими древесными породами являются ель черная (рис. 1), ель белая, пихта бальзамическая и сосна Банкса.

Выявление долгосрочных антропогенных изменений в лесном покрове проводилось путем сравнения космических снимков Landsat, сделанных с интервалом 10 лет: в 1988–1992 и 2000–2002 гг. В некоторых случаях разница между снимками была не точно 10, а 9 или 11 лет. За начальную точку отсчета принимались снимки Landsat 4 TM и Landsat 5 TM, за конечную — Landsat 7 ETM+ с пространственным разрешением 30 метров.

Методика анализа изменения (change-detection) по разнице изображений делает возможным быструю и довольно точную оценку площадей вырубленных территорий. Для проведения анализа необходимо наличие космической съемки с пространственным разрешением не хуже 50 м и с приблизительно одинаковыми параметрами съемки (сезон года и спектральное разрешение). Этим критериям хорошо соответствуют пары снимков Landsat.

На начальном этапе работы проводилось маскирование (исключение) облачности, теней от облаков и водных поверхностей. Исключение данных объектов позволяет существенно снизить вероятность артефактов — ложного выявления изменений в лесном покрове.



Рис. 1. Темнохвойный лес с преобладанием ели черной (*Picea mariana*) в провинции Британская Колумбия.

Фото А.А. Маслова

В дальнейшем с парой точно совмещенных разновременных снимков попиксельно проводилась основная операция, которая может быть выражена следующей простой формулой:

$$D = BV_k + (1) - BV_k(2) + c$$

где:

D = значение изменения,

BV = значение яркости пикселя в момент времени 1 (новый снимок),

BV = значение яркости пикселя в момент времени 2 (старый снимок),

k = номер канала (спектрального диапазона) камеры (например, канал номер 4 камеры ETM+),

c = константа (например, 127)

В результате проведенной работы были выделены все территории с сомкнутыми лесами (сомкнутость более 40%) в 90-х годах, лишившиеся лесного покрова к 2000–2002 гг. Причинами обезлесивания являются сплошные промышленные рубки, создание объектов инфраструктуры (дорог, ЛЭП, трубопроводов), конвертация лесных земель в сельскохозяйственные земли. Обезлесивание, связанное с пожарной динамикой, не учитывалось.

В целом для территории бореальной равнинной экосоны Канады были получены результаты, представленные в таблице. Полученные значения хорошо согласуются с официальными данными по объемам рубок.

Провинция	Общая площадь (тыс. га)	Площадь исследования (тыс. га)	Площадь изменений (тыс. га)	Скорость изменений* (тыс. га в год)
Альберта	66 033	32 675	586.0	58.60
Британская Колумбия	94 225	3 302	34.9	3.49
Манитоба	64 603	10 424	35.0	3.50
Саскачеван	64 989	12 196	131.3	13.13
Всего по экосоне	73 442	58 597	787.2	78.72

* Скорость изменений была рассчитана, исходя из 10-летнего периода

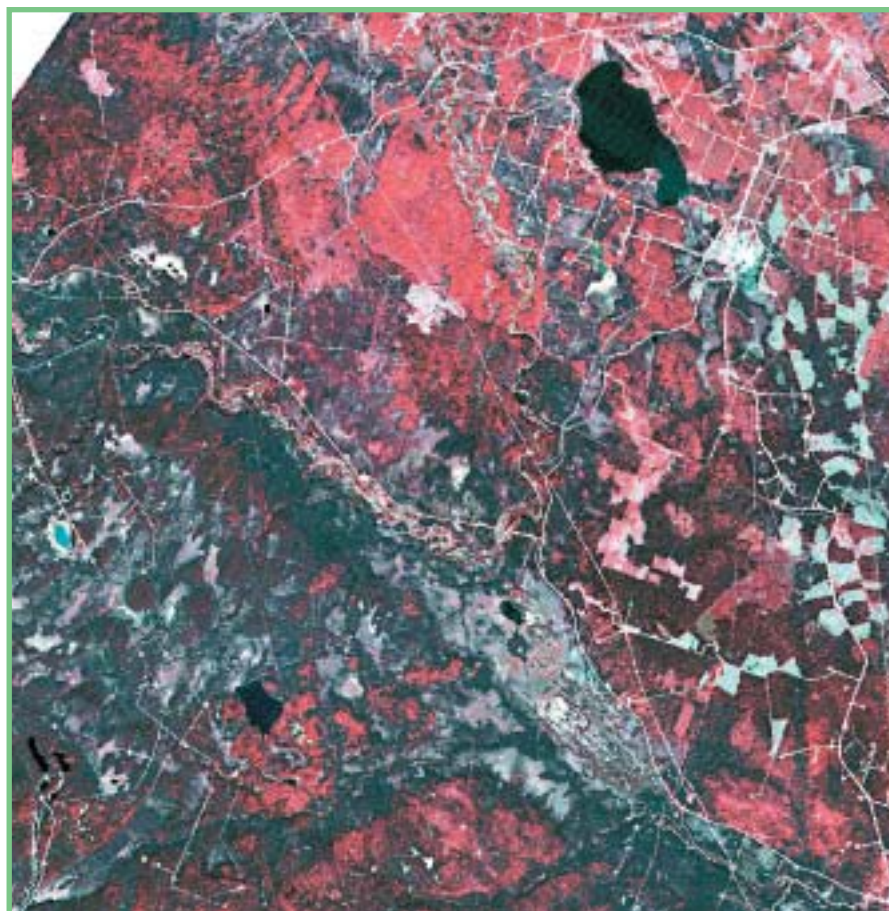


Рис. 2.
Снимок Landsat TM
на территорию
северо-восточной
Альберты, окрестности
поселка Сван-Хиллс, 1990 г.

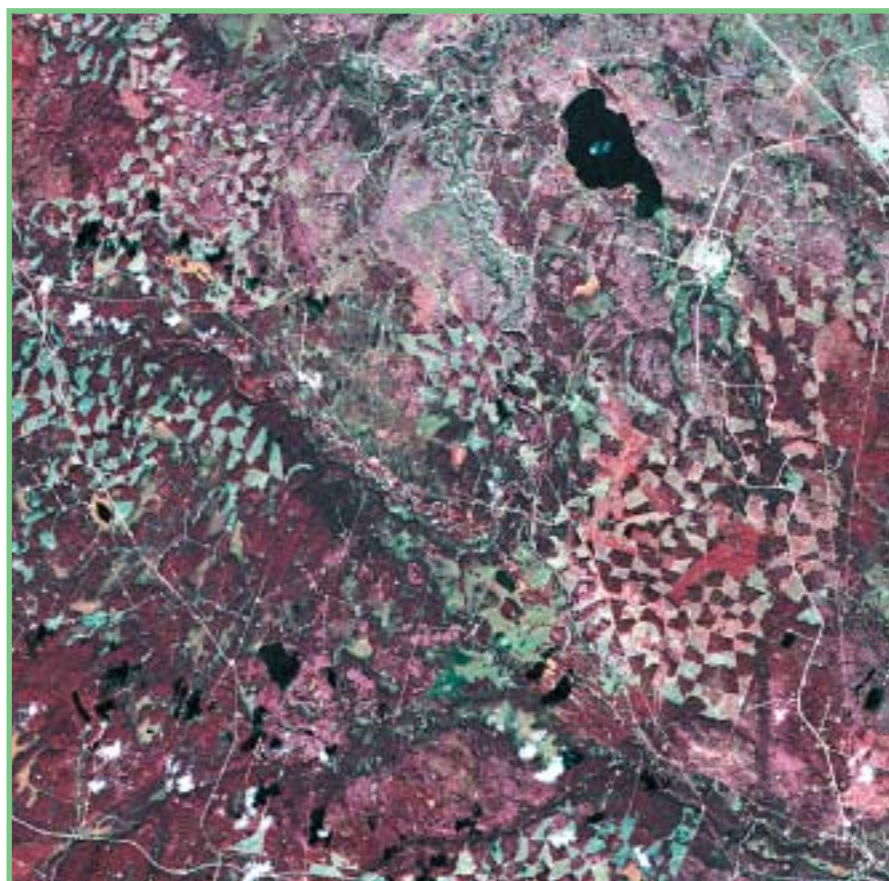


Рис. 3.
Снимок Landsat 7 ETM+
на территорию
северо-восточной
Альберты, окрестности
поселка Сван-Хиллс, 2000 г.

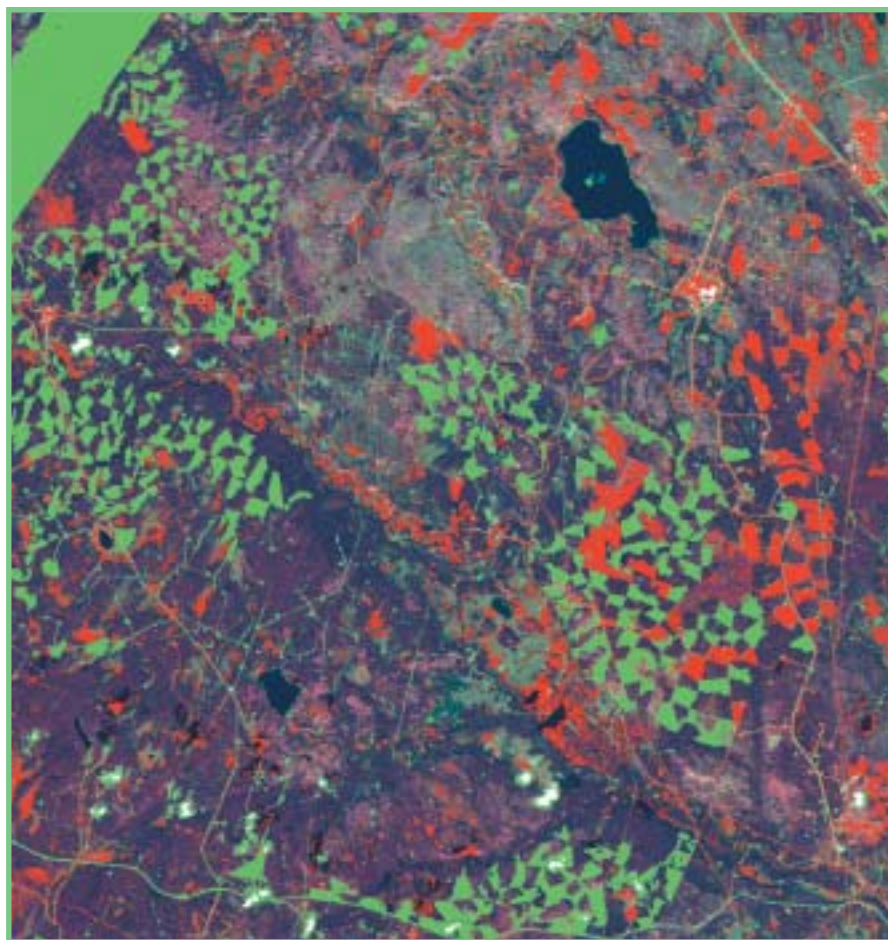


Рис. 4. Результат анализа изменений лесного покрова для снимков, показанных на рис. 2 и рис. 3.

Зеленым показаны территории, на которых произошло исчезновение лесного покрова в результате антропогенной деятельности. Красным цветом показаны территории, на которых произошло восстановление лесной растительности на месте вырубок и других безлесных территорий.



Рис. 5. Пример изменения лесного покрова за период 1990–2000 гг. для территории северо-восточной Альберты, Канада.

Черно-белая карта (в) является результатом сравнительного анализа двух снимков 1990 (а) и 2000 (б) годов. Черным показаны изменения, произошедшие в лесном покрове.

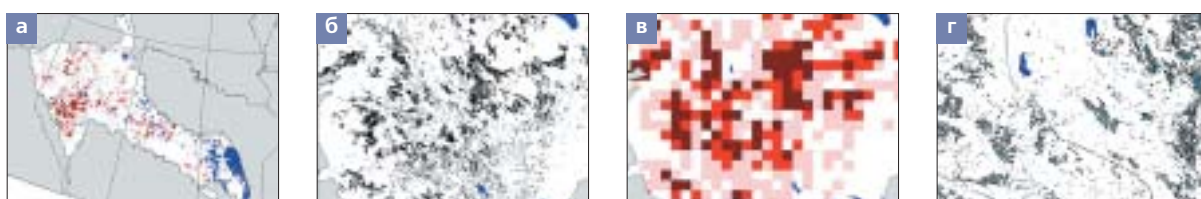


Рис. 6. Интенсивность изменений лесного покрова бореальной равнинной экосоны в пересчете на квадратный километр.

На рисунке (а) показана вся зона исследований. Рисунки (б) и (в) отражают отдельные части территории при различном увеличении. На рисунке (г) приводится фрагмент анализа. Цветом показана интенсивность изменений лесного покрова в пересчете на 1 квадратный километр. Более интенсивным цветам соответствует большая степень изменения.



**Рубка леса в провинции
Британская Колумбия.**
Фото А.А. Маслова



**Люпин арктический
на обезлесенном
горном склоне.**
Фото А.А. Маслова



**Старовозрастный лес
из ели ситхинской.**
Фото А.А. Маслова



Рис. 1. Широколиственный лес с ярусом из самшита колхидского (*Buxus colchica*). Фото М. Плотникова

ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ НЕЗАКОННЫХ РУБОК В ЛЕСАХ С РЕЛИКТОВЫМ САМШИТОМ

Самшит колхидский (*Buxus colchica*) — вечнозеленое невысокое дерево или кустарник, реликт третичной флоры, является одним из наиболее ценных древесных видов Северо-западного Кавказа, внесен в Красную Книгу РФ и в Красную Книгу Всемирного союза охраны природы (МСОП). В России встречается исключительно в Краснодарском крае. Крайне медленный рост самшита обуславливает чрезвычайную уязвимость вида по отношению к изменениям среды обитания и хозяйственному использованию.

Уникальный массив самшитового леса расположен в среднем течении реки Цице на территории Цицинского лесничества Курджипского лесхоза республики Адыгея. Это — единственное столь крупное местообитание самшита колхидского на северном макросклоне Большого Кавказа. Площадь массива, по материалам лесоустройства, составляет около 200 га. Самшитовый лес произрастает на высоте от 200 до 1000 м над уровнем моря и приурочен к известняковым массивам, сильно расчлененным сетью трещин, ручьев, сухих балок и ущелий. На указанной территории самшит произрастает сплошным массивом и отдельными компактными группами. При этом он образует второй древесный ярус под пологом полидоминантного широколиственного леса (рис. 1).

Зимой 2001–2002 гг. работниками лесхоза проведена несанкционированная выборочная рубка наиболее крупных деревьев первого яруса. При этом прокладка волоков, валка и транспортировка стволов привели к уничтожению самшитового яруса на большой территории, а лесному массиву в целом был нанесен существенный ущерб. Для приблизительной оценки нанесенного ущерба были использованы космические снимки Landsat 7 ETM+ и IRS PAN.

На первом этапе с помощью мультиспектральных снимков Landsat ETM+ (пространственное разрешение 30 м на пиксель) и панхроматических снимков IRS PAN (разрешение 6 м) был идентифицирован сам массив полидоминантных широколиственных лесов с сомкнутым ярусом из самшита. На местности точки обследования были привязаны с помощью GPS. Результатом этой работы стала уточненная карта, показывающая реальные границы лесного массива с доминированием самшита. При этом площадь массива по снимку отличается в большую сторону, если сравнить ее с площадью по материалам лесоустройства (рис. 2).

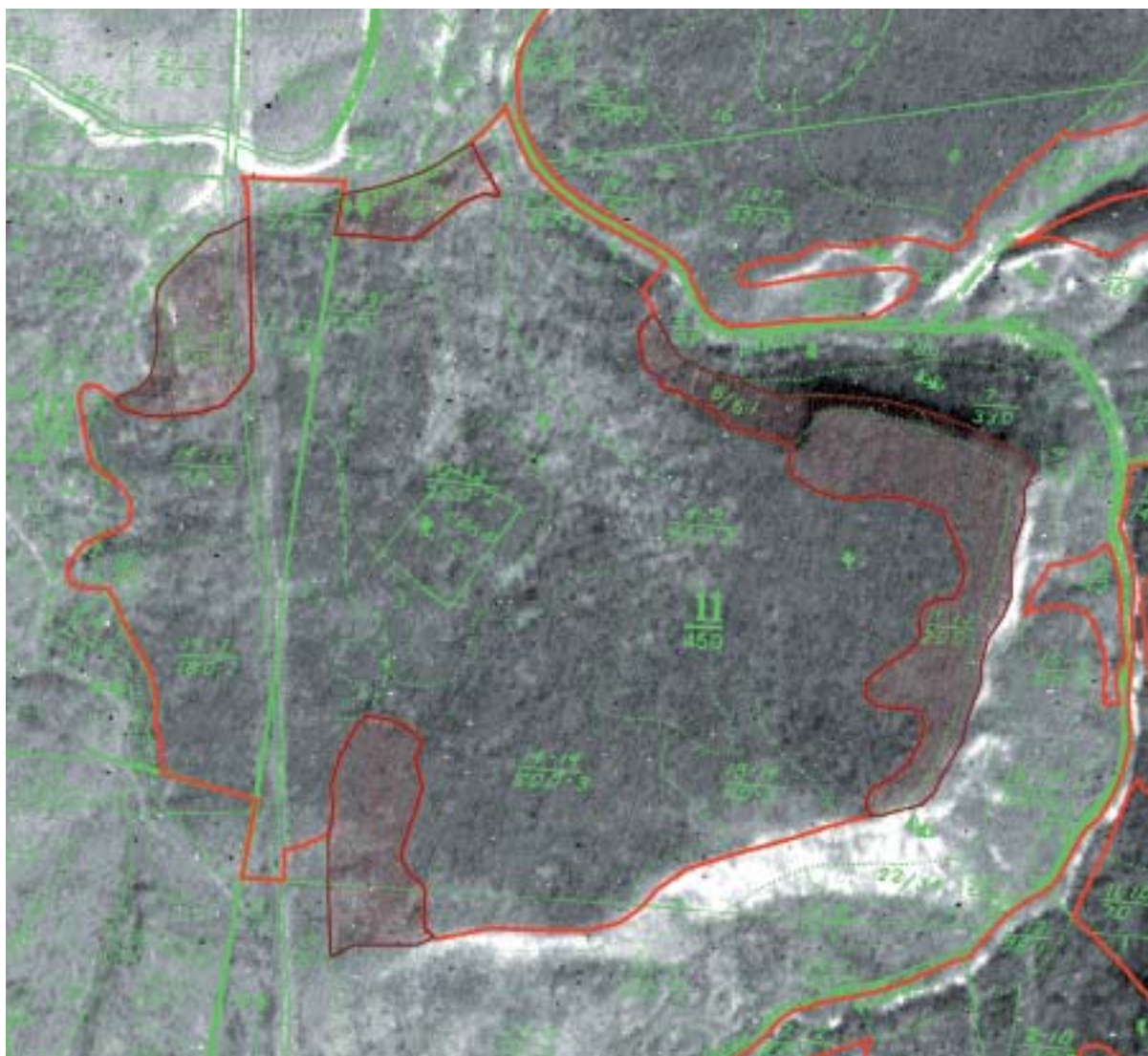


Рис. 2. Уточнение границы участка самшитового массива с использованием спутниковых изображений IRS PAN. Пространственное разрешение 6 м.

©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002–2005 г.

Наиболее пострадавшие участки самшитового леса приурочены к волокам, однако небольшая ширина волоков не позволяет уверенно идентифицировать их даже по снимкам с размером пикселя 6 м (IRS PAN). Тем не менее, зона почти сплошного уничтожения второго яруса из самшита на таком снимке выявляется четко (рис. 3). Расположение волоков было нанесено на снимок с помощью данных полевых GPS-измерений.

Определение по снимку площади контура, где уничтожен самшитовый ярус, позволяет примерно оценить сумму нанесенного ущерба. Так, площадь сплошного нарушения по снимку составила 4800 кв. метров. При этом на 1 квадратный метр территории приходится в среднем два экземпляра самшита колхидского, а штраф за рубку каждого дерева составляет 30 МРОТ (Приложение 3 к приказу Минприроды России от 4 мая 1994 г. № 126). Таким образом, общий штраф за рубку, проведенную с нарушениями природоохранного и лесного законодательства, должен составить 8 миллионов рублей.

Работа выполнена по инициативе Международного социально-экологического союза (МСоЭС).

Зеленые контуры — выделы по лесоустройству. Красная линия — граница самшитового массива по данным лесоустройства. Контуры с темно-красной штриховкой — дополнительно выделенные участки с доминированием самшита.



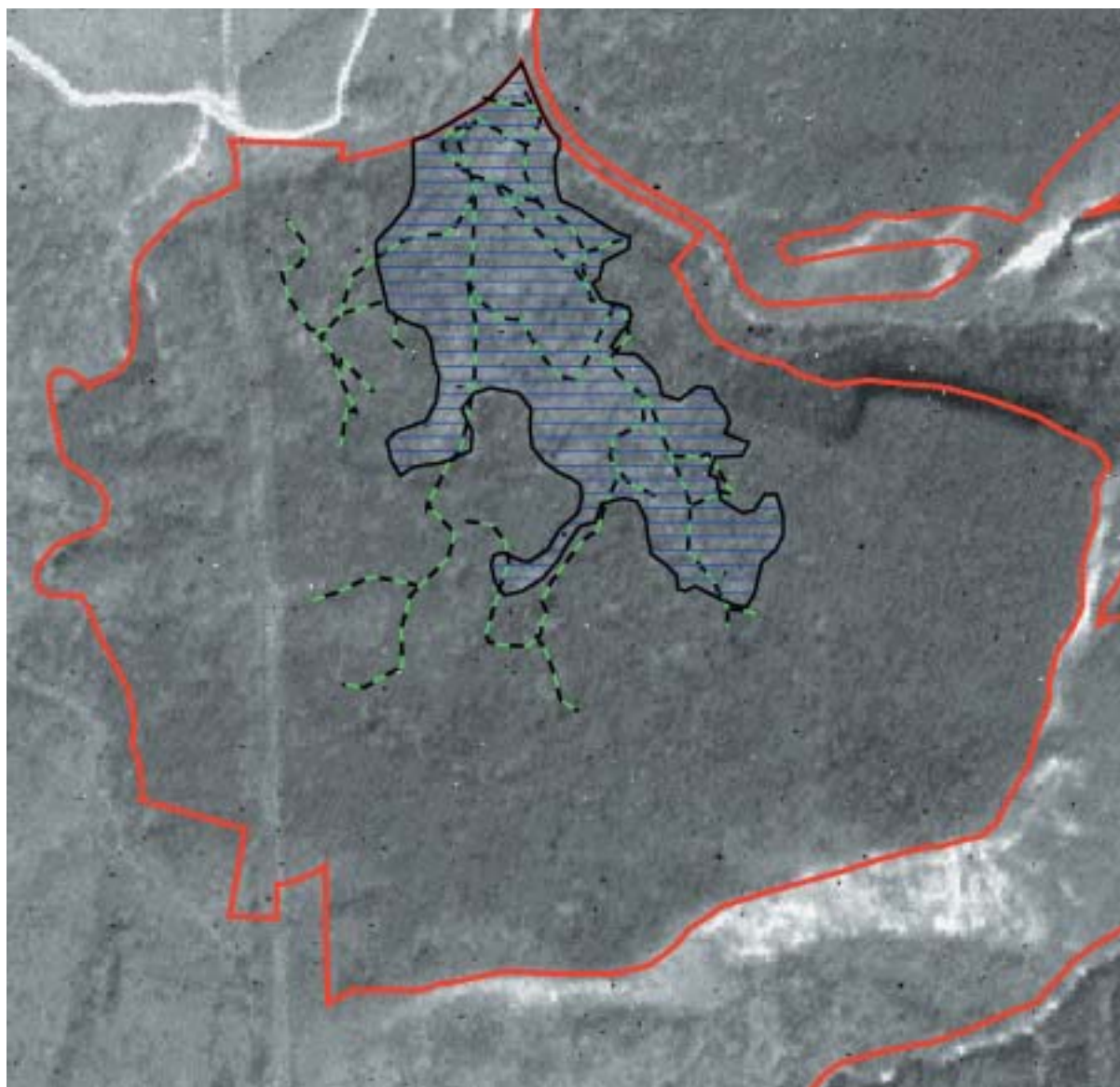


Рисунок 3. Выявление зоны сплошных нарушений в результате рубок по снимку IRS PAN. Пространственное разрешение 6 м.
 ©ANTRIX, Space Imaging Inc., ИТЦ СканЭкс, 2002–2005 г.

Красная линия — граница самшитового массива. Контур с синей штриховкой — участок с уничтоженным ярусом из самшита, черно-зеленые линии — сеть волоков по данным GPS-измерений.





СОЗДАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ГРАНИЦ ВОДНО-БОЛОТНОГО УГОДЬЯ «ДЕЛЬТА ВОЛГИ»

Водно-болотные угодья (ветланды) являются одним из ключевых типов экосистем планеты. Согласно определению, принятому Международной конвенцией о водно-болотных угодьях (Рамсар, Иран, 1971), к таким угодьям относится широкий круг водоемов, мелководий, а также избыточно увлажненных участков территории, где водное зеркало обычно находится на поверхности земли. Везде в этих местах вода является основным фактором, который определяет условия жизни растений и животных и контролирует состояние окружающей среды. Крупные водно-болотные угодья играют особую роль в поддержании биологического разнообразия, так как служат постоянными или временными местобитаниями многих видов растений и животных. Угодья, включенные в список международной конвенции, получили название «Рамсарских» по имени города, где был подписан договор.

Водно-болотное угодье «Дельта Волги» одним из первых в мире (1975 г.) получило международный «Рамсарский» статус. Объект включает крупнейший в Европе пойменный комплекс дельты с речными рукавами, протоками, участками суши между ними, плавнями и приустьевыми мелководьями на море. Территориально объект охватывает территорию четырех прибрежных районов Астраханской области. В границах объекта функционирует трехкластерный Астраханский государственный биосферный заповедник — один из старейших заповедников страны. На территории угодья располагаются также четыре охотничьих заказника, четыре памятника природы и несколько «зон покоя» для водоплавающих птиц в сезон охоты.

«Дельта Волги» является местом гнездования околотовных и водоплавающих птиц, многие из которых (цапли, ибисовые, большой баклан) образуют крупные колонии. Через объект проходит важный пролетный путь мигрирующих птиц, таких как утки, гуси, лебеди, кулики. Акватория «Дельты Волги» является местом массового нереста полупроходных рыб (вобла, лещ). Здесь проходят на нерест осетровые рыбы — белуга, стерлядь, севрюга.

Несмотря на международное значение Рамсарского водно-болотного угодья «Дельта Волги», границы объекта недостаточно четко определяются основным нормативным документом — постановлением Главы Администрации Астраханской области от 22.12.1997 г. № 500. В частности, не была составлена официальная схема угодья. Как показывает прак-

тика других регионов, неопределенность проведения границ охраняемых территорий и недостаток информации часто приводят к конфликтам властей и природопользователей на региональном и федеральном уровне.

В связи с этим целью работы являлось создание подробной карты-схемы Рамсарского водно-болотного угодья «Дельта Волги» на базе ГИС и космических снимков. Такая карта-схема необходима не только для решения вопросов природопользования, но и для визуализации данных мониторинга на территории объекта. Поэтому важным разделом работы стало картирование водной и прибрежной растительности — основного местобитания водоплавающих птиц.

В качестве базовой топоосновы были использованы карты масштаба 1:500 000 и 1:200 000. Однако топографические данные на исследуемую территорию не являются надежным источником информации о береговой линии, так как они, в основном, отражают состояние территории на 1983 год. За прошедшие годы береговая линия и распределение водной растительности значительно изменились, в частности, из-за подъема уровня Каспийского моря.

Для актуализации информации использовались снимки Landsat 7 ETM+ 2001–2002 гг. и Terra MODIS 2003 г. на всю территорию угодья. Данные Landsat и Terra MODIS были привязаны к топооснове с помощью программного пакета ERDAS Imagine 8.6. Хотя пространственное разрешение снимков Terra MODIS составляет 250 м (по сравнению с разрешением 30 м у снимков Landsat), они успешно могут использоваться для оперативного уточнения изменений в распределении водной растительности (рис. 1).

Дешифрирование космических снимков для выделения различных тематических слоев проводилось как в автоматическом, так и в экспертном режиме. Важно отметить, что береговая и прибрежная полосы северного Каспия заняты аквальными комплексами, маскирующими переход от морской акватории к суше. Поэтому выделить береговую линию в традиционном понимании (линия пересечения акватории моря с поверхностью суши) не представлялось возможным. В данном случае береговую полосу можно установить как зону, ограниченную двумя линиями нечетких границ

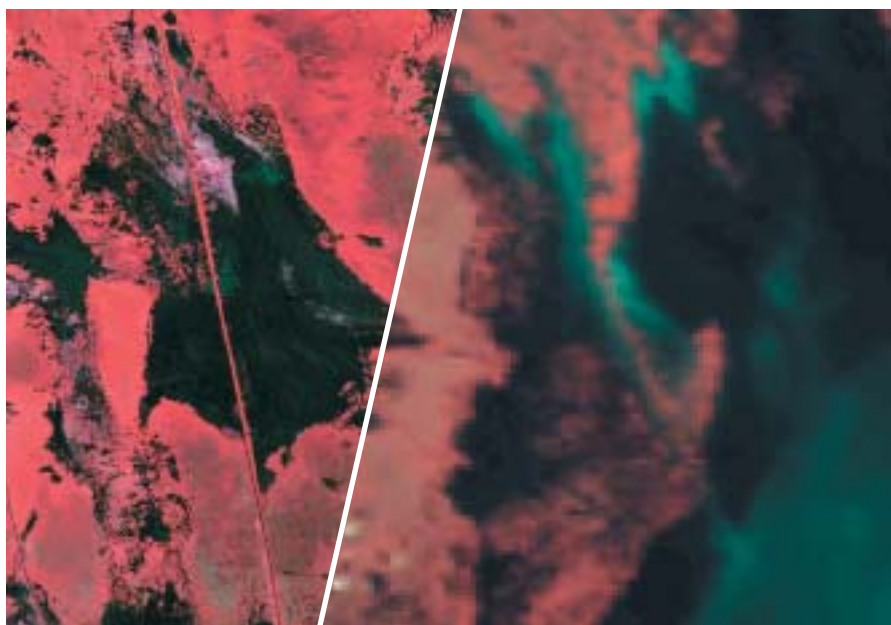


Рис. 1. Сравнение детальности снимков Landsat 7 ETM+ (слева) и Terra MODIS (справа).



Рис. 2. Визуальное экспертное дешифрирование снимков Landsat 7 ETM+.

распределения прибрежных сообществ со стороны моря и со стороны суши. Таким образом, (с помощью ручного дешифрирования) был получен картографический слой распространения околоводной растительности, включающий в себя надводные, плавающие и погруженные растительные сообщества (рис. 2). Полученные материалы вместе с топографическими ориентирами, упомянутыми в описании границ угодья, позволили точно определить северную, восточную и западную границы.

Проведение южной границы водно-болотного угодья «Дельта Волги» представляло особую сложность. Согласно постановлению, эта граница проходит «по линии свала глубин» южнее островов Жесткий, Укатный и других. Использование такой формулировки в описании границ создает неопределенность. Для решения данной проблемы на основе навигационной карты масштаба 1:750 000 была построена цифровая модель рельефа дна (использовались как точечные, так и линейные данные батиметрии, результирующее разрешение на местности — 150 м). Созданная модель дна использовалась далее для проведения идентификации свала глубин и проведения южной (морской) границы угодья (рис. 3).

В результате дискуссии экспертов, «экологической границей» угодья была выбрана изобата 2.0 м. Основным критерием такого выбора глубины послужило наличие высшей водной растительности, в частности, зарослей тростника. Таким образом, наряду с цифровой моделью рельефа дна моря при проведении южной границы применялась и карта растительности, полученная с помощью космоснимков.

Главным результатом проекта является карта-схема Рамсарского водно-болотного угодья «Дельта Волги» с отличительными ориентирами (населенными пунктами, каналами, островами), упомянутыми в описании границ. В своем нынешнем виде карта-схема (рис. 4) может быть использована для дальнейшего уточнения границ и решения конфликтных ситуаций.

Проект был выполнен в рамках совместной инициативы Caspinfo-GIS-Lab при финансовой поддержке Wetlands International. Подробнее о проекте и использованной методологии см. на сайте: <http://gis-lab.info/projects/vbu.html>.



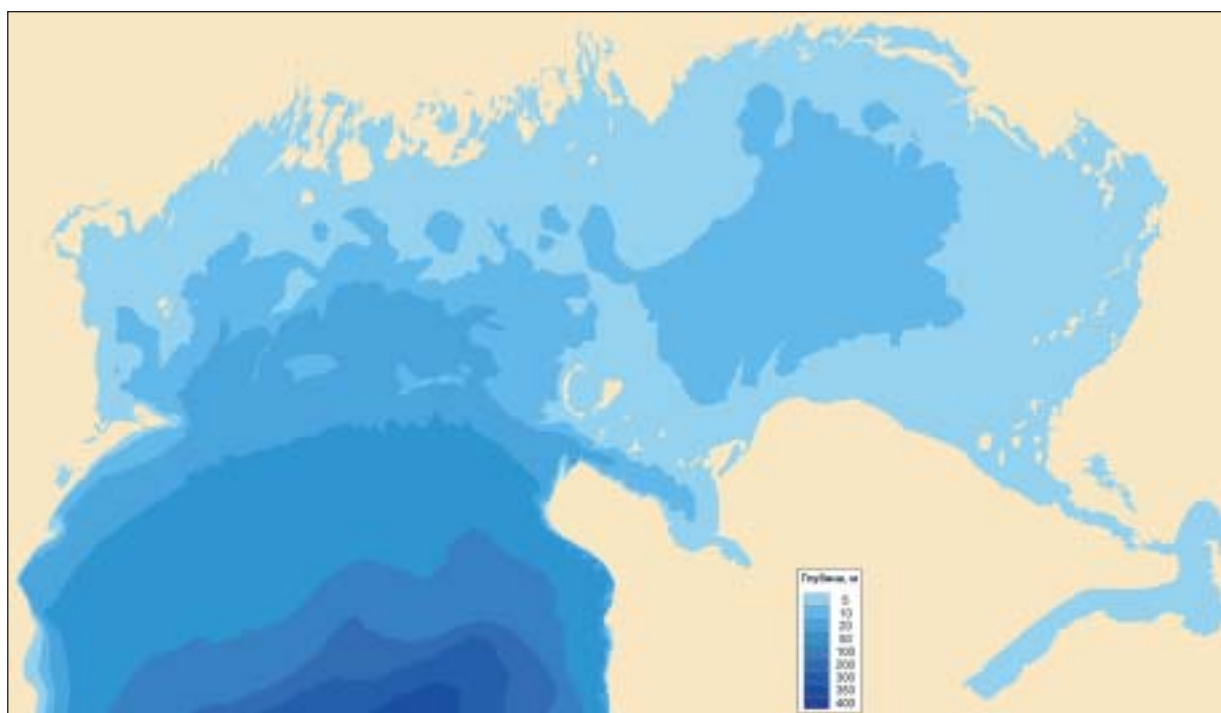
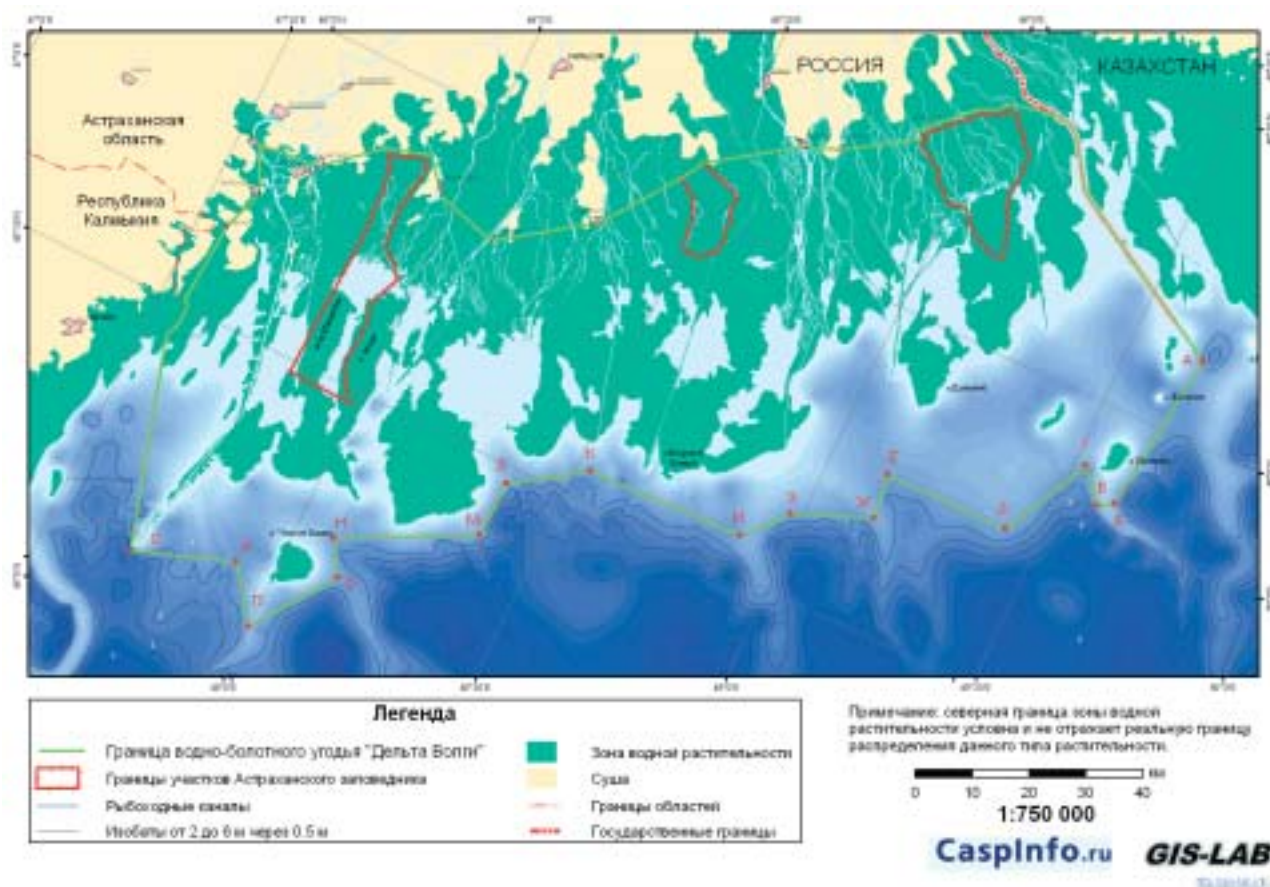


Рис. 3. Цифровая модель дна Северного Каспия.

Рис. 4. Карта-схема международного (Рамсарского) водно-болотного угодья «Дельта Волги».



Научно-популярное издание

**Изображения Земли из космоса: примеры использования природоохран-
ными организациями**

Автор идеи:

Гершензон О.Н.

Ответственный за подготовку издания:

Ипполитов В.Ю.

Дизайн, верстка, pre-press:

Шурупова Е.Г.

*Также использованы фотографии С.А. Баландина, А.К. Горбунова, Й. Кампа,
А.А. Маслова, Д.Л. Сидоренко, О.А. Смирновой, В. Сони.*

На последней странице обложки: лотос каспийский (фото А.К. Горбунова)

Тираж 500 экз.

Инженерно-технологический центр СканЭкс

119021, Москва, ул. Льва Толстого, 22/5

Тел.: +7 (095) 246-3853

Факс: +7 (095) 246-2593

www.scanex.ru • info@scanex.ru

Отпечатано в типографии ООО «Печатный Дом»



ISBN: 5-9900182-4-X



9 785990 018242

© ИТЦ СканЭкс 2005