

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ КАРТИРОВАНИ ЭКОТОНА ГОРНОЙ ЛЕСОТУНДРЫ**

**Шестакова Т.А.**

**Научный руководитель – д.б.н., профессор Харук В.И.**

*Сибирский федеральный университет*

Наблюдаемое в настоящее время нарастание тесно взаимосвязанных процессов глобального изменения климата и нарушения экологического равновесия биосферы является предметом пристального изучения многих ученых и находится в фокусе внимания различных международных исследовательских институтов. На сегодняшний день требуется безотлагательная разработка и применение адекватных механизмов реагирования на сложившуюся ситуацию, целью которых должно стать обеспечение устойчивого развития экосистем различных уровней и человеческого сообщества в целом.

Результаты множества проведенных исследований указывают на возможную связь происходящего глобального потепления с процессами деградации экосистем, вызываемыми, в частности, нерациональным лесопользованием, изменениями качественного состава лесов, повышением их горимости вследствие антропогенного влияния, гибелью лесов в результате техногенного воздействия или массового размножения насекомых и ряда других факторов. Это связано с тем, что леса выполняют функцию важнейшего регулятора фундаментальных природных процессов на планете, отвечающих за обмен энергией и веществом, играя при этом огромную экономическую роль в жизни человека.

Вместе с тем, обеспеченность информацией о состоянии и динамике лесного покрова, в том числе и на территории Российской Федерации, все еще остается недостаточной и не отвечает современным требованиям устойчивого управления лесами. Так, например, мониторинг изменений лесного покрова под воздействием деструктивных факторов (вырубки, пожары, вспышки массового размножения насекомых и т. д.) и лесовосстановительных процессов проводится лишь на части территории нашей страны и в большинстве случаев эпизодически.

Таким образом, большой размер территории, особенности природно-географических условий и развития инфраструктуры в России, в особенности на севере страны и азиатской ее части, побуждают рассматривать дистанционные, и в частности спутниковые, методы наблюдения в качестве одного из приоритетных источников данных о состоянии лесных экосистем и их динамики. Информационная эффективность использования данных дистанционного зондирования, получаемых с искусственных спутников Земли, для решения широкого спектра задач мониторинга лесного покрова сейчас уже не вызывает сомнений у большинства ученых и специалистов, работающих в данной области.

Общая лесопокрытая площадь и ее изменение являются одними из основных параметров, необходимых для количественного анализа состояния лесов и лесных ресурсов, моделирования баланса углерода, контроля лесопользования и принятия природоохранных решений. Оценка и мониторинг площади лесного покрова особенно

важны для биома бореальных лесов в связи с его ключевой ролью в накоплении углерода и чувствительностью к факторам, связанным с наблюдаемым сегодня на планете изменением климата. Так в ряде работ было продемонстрировано смещение верхней границы леса (в сторону увеличения высоты) в высокогорьях Швеции, Альп, Новой Зеландии и Африки.

Аналогичные исследования были проведены и в Институте леса СО РАН им. В.Н. Сукачева. В качестве объекта исследования была рассмотрена территория произрастания горных лесов на хребте Сенгилен в Алтае-Саянской горной системе. В частности, при изучении лесного покрова на данной территории было установлено, что с 1960 по 2002 г. общая площадь сомкнутых лесов увеличилась примерно в 1,5 раза, с 28 000 до 41 500 га (общая площадь исследуемой территории составила около 95 000 га). При этом было отмечено изменение высотного положения границы произрастания леса. Так, если в 1960 г. верхняя граница сомкнутого леса в среднем находилась на уровне 2310 м, то к 2002 г. она сместилась вверх на  $63 \pm 37$  м и составила уже около 2373 м.

Таким образом, в течение последних четыре десятилетия на лесистой территории южной Сибири произошли существенные изменения, которые полностью согласуются с данными об изменении климата на планете (особенно в зимний период). Как можно заключить из вышесказанного, площадь сомкнутых лесов растет за счет увеличения плотности лесонасаждений и смещения как нижней, так и верхней границы леса. Это происходит вследствие того, что глобальное потепление способствует миграции лесного покрова в районы, менее защищенные, например, от зимнего иссушения и снежной абразии.

Цель данной работы состоит в том, чтобы провести аналогичный анализ пространственно-временной динамики экотона горной лесотундры Центрального Алтая и оценить изложенную выше гипотезу о связи состояния и динамики лесного покрова с наблюдаемым сегодня потеплением климата. Объектом исследования является расположенный в Центральном Алтае хребет Кабак-тайга и горный массив Акташ. Исследование территории планируется проводить на основе разновременных («временных срезов») данных дистанционного зондирования, различных картографических материалов, цифровой модели рельефа, материалах полевых исследований, а также рядов метеорологических наблюдений.

В качестве информационной базы для решения поставленной задачи были приняты три набора космических снимков: среднего, высокого и сверхвысокого разрешения. Космоснимки среднего разрешения представлены съемкой со спутника Landsat (пространственное разрешение – 15-80 м), которая обеспечивает доступ к крупнейшему архиву бесплатных данных, как исторических (начиная с 70-х годов, приборы MSS, TM), так и современных (приборы TM, ETM+).

В качестве данных высокого разрешения были приняты панхроматические космические изображения, полученные с помощью американский спутников оптической разведки типа Corona, среднее пространственное разрешение которых составляет 6 м. В настоящее время данные Corona доступны на период с 1960 по 1972 года.

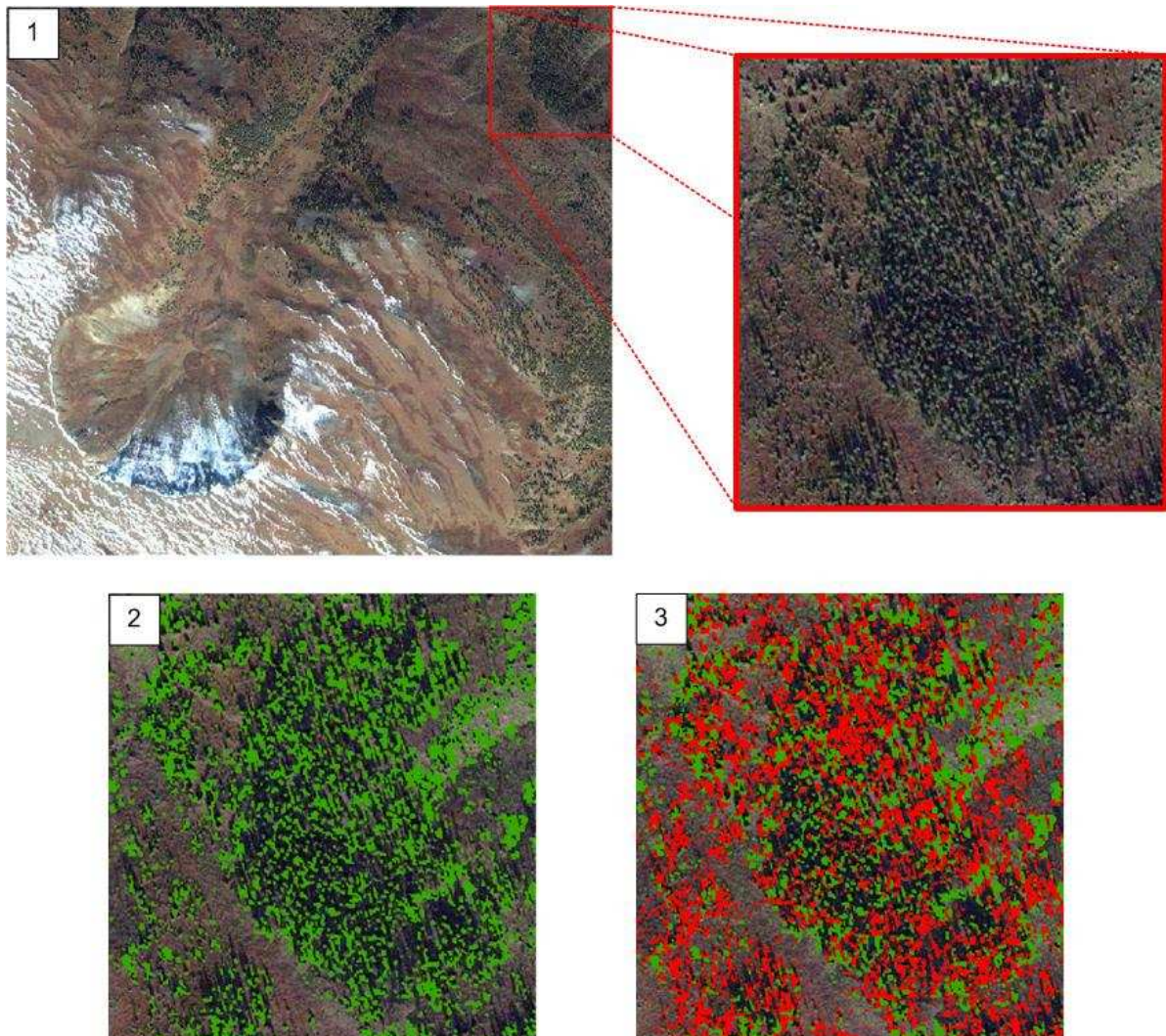
И, наконец, космические снимки сверхвысокого разрешения представлены материалами со спутника QuickBird, который предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 61 см в

панхроматическом режиме и 2,44 м в мультиспектральном режиме при съемке в надир. Основными преимуществами спутника QuickBird являются широкая полоса охвата (размер сцены – 16,5x16,5 км) и высокая метрическая точность.

Итак, в рамках поставленной задачи – провести анализ пространственно-временной динамики экотона горной лесотундры – на первом этапе ее решения было необходимо произвести классификацию спутниковых изображений с целью выделения на них лесных участков. Поскольку в данной работе используются космоснимки сверхвысокого разрешения, то это потребовало применение нестандартных методов к их дешифрированию. Так, если для обработки снимков сенсора Landsat успешно применяются стандартные «попиксельные» алгоритмы классификации (например, классификация без обучения, метод максимального правдоподобия), то данные высокого, и тем более сверхвысокого разрешения требуют иных подходов.

Это объясняется тем, что пиксели на снимке среднего разрешения (Landsat) содержат усредненную информацию по довольно большой площади, в пределах которой могут присутствовать десятки деревьев. В то же время, на снимках высокого разрешения различные пиксели могут представлять солнечную и теневую стороны дерева, траву и почву возле него. Это не только увеличивает объем информации, присутствующей на снимке, но и требует учета контекста пикселей при их классификации.

Таким образом, для дешифрирования изображений высокого разрешения был использован многофункциональный программный комплекс ENVI, который позволяет



**Рисунок 1.** 1 – тестовый участок исходного космического изображения QuickBird на территорию горного массива Акташ (съемка от 11.09.2002 г.); 2 – класс Forest, выделенный на космоснимке с помощью модуля ENVI Ex; 3 – исходный класс Forest (зеленый цвет), объединенный с дополнительным классом Shaded Forest (красный цвет) проводить полный цикл обработки данных дистанционного зондирования Земли: от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до тематической обработки и интеграции с геоинформационными системами. Данный комплекс представляет пользователю новые возможности объектно-ориентированной классификации изображений с помощью дополнительных возможностей модуля ENVI Ex.

По средствам данного пакета на исходном изображении QuickBird (см. рис. 1. 1) были выделены 7 классов, условно названные Forest (лес), Bush (кустарник), Grass (травяной покров), Shadow (тень), Ground (земля), Burn (гарь) и Snow (снег). Однако статистический анализ (метод Карра-статистики) полученной классификации показал достаточно низкую точность выделения лесных участков на изображении за счет затененных деревьев (см. рис. 1. 2).

Для повышения точности классификации на исходное изображение была наложена маска, соответствующая классу Shadow. Выделенные участки были повторно дешифрованы с целью отделения затененных древостоев от теней, отбрасываемых деревьями. После этого новый класс Shaded Forest был объединен с исходным классом Forest (см. рис. 1. 3).

В таблице 1 приведены статистические показатели, рассчитанные методом Карра-статистики для исходного класса Forest и объединенного класса Forest и Shaded Forest. Для оценки точности полученных классификаций был использован единый набор, состоящий из 300 точек, набранных случайным образом, 150 из которых относятся к фону (Background), а другие 150 – к классу леса (Forest). Как можно видеть из таблицы 1, после проведения дополнительного дешифрирования затененных участков космического изображения и уточнений исходной классификации, ее точность увеличилась более чем на 20% (с 71.33% до 94.67%), а общий показатель Карра-статистики с 0.4267 до 0.8933.

**Таблица 1.** Карра-статистика: первое значение соответствует исходному классу Forest, второе – объединенному классу Forest и Shaded Forest

<b>ERROR MATRIX</b>			
<b>Classified Data</b>	<b>Background</b>	<b>Forest</b>	<b>Row Total</b>
<b>Background</b>	148 // 142	84 // 8	232 // 150
<b>Forest</b>	2 // 8	66 // 142	68 // 150
<b>Column Total</b>	150 // 150	150 // 150	300 // 300
<b>ACCURACY TOTALS</b>			

<b>Class Name</b>	<b>Reference Totals</b>	<b>Classified Totals</b>	<b>Number Correct</b>	<b>Producers Accuracy, %</b>	<b>Users Accuracy, %</b>
<b>Background</b>	150 // 150	232 // 150	148 // 142	44.00 // 94,67	97.06 // 94,67
<b>Forest</b>	150 // 150	68 // 150	66 /142/		
<b>Totals</b>	300 // 300	300 // 300	214 // 284		
<b>Overall Classification Accuracy, %</b>	71.33 // 94.67				
<b><i>KAPPA (K^) STATISTICS</i></b>					
<b>Class Name</b>	<b>Kappa</b>				
<b>Background</b>	0.9412 // 0.8933				
<b>Forest</b>	0.2759 // 0.8933				
<b>Overall Kappa Statistics</b>	0.4267 // 0.8933				