КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОВЕДЕНИИ И ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

МОНИТОРИНГ ЛЕСОВ ЗЕЛЕНЫХ ЗОН НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ АЭРО- И СКАНЕРНОЙ СЪЕМКИ

Т. И. Берестова

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск

Анализ современного развития технологий спутниковых наблюдений и методов сравнения получаемых данных позволяет говорить о наличии реальной возможности создания системы мониторинга лесов России на национальном уровне. Разработанные к настоящему времени методы дают возможность по спутниковым данным выявлять изменения в лесах в результате воздействия возмущающих факторов (пожары, вырубки), дают возможность с помощью камерального дешифрирования трендовых факторов выявить линию развития сукцессионных процессов насаждений, деградацию насаждений после долговременной нагрузки антропогенных факторов, рекреационных нагрузок, дать прогноз изменений лесных экосистем для выбора стратегии устойчивого развития человеческого общества.

Для картографирования и оценки современного состояния лесов зеленых зон используются снимки со спутников QuickBird II и IKONOS с пространственным разрешением 0,6-1,0 м. Высокое пространственное разрешение космических снимков позволяет использовать прямые дешифровочные признаки. Автоматическая классификация снимков осуществляется в среде ГИС ERDAS и модуля Image Analysis k Map Info, что повышает объективность и детальность дешифрирования. Однако, при таком методе могут вкрасться ошибки дешифрирования, так как в этом случае в меньшей степени представлено измерительное дешифрирование. Поэтому в работах по оценке состояния и динамики изменения окружающей среды лесов необходимо опираться на комплекс методов визуального и автоматического дешифрирования.

Главной задачей в рамках обозначенной проблемы является применение программы Photomod 3.6 с целью определения следующих важнейших характеристик лесного покрова:

- рельеф, величина уклонов местности, экспозиция;
- соотношение древесных пород;
- средняя высота древостоя;
- густота, полнота древостоя и сумма поперечных сечений стволов деревьев;
- возрастная структура по классам возраста древостоев;
- площадь крон и их сомкнутость;
- границы выделов.

Для предобработки сканерных данных в системе Photomod используется универсальный алгоритм обработки, учитывающий параметры RPC. Это достигается меньшим числом опорных точек (10) при фотограмметрической обработке снимков лесов зеленых зон. Строгий алгоритм предобработки ASTER включает радиометрическую коррекцию; поддерживает обработку IKONOS GEO. Алгоритм предобработки обеспечивает точность обработки порядка разрешения.

Классический цикл фотограмметрической обработки в этом случае следующий: определение опорных точек для преобразования в цифровую форму картографической информации предыдущей лесоинвентаризации или существующих планов лесонасаждений и топографических карт 1:10000 масштаба; создание по данным прошлой инвентаризации таксационно-дешифровочных типичных выделов, таксационных выделов

обучающих и контрольнох выборок и погружение их в среду ГИС Photomod; проведение сравнительного анализа результатов классификаций на экране компьютера и данных контурного и таксационного дешифрирования (кв. 6, 7 Опытного лесничества Учебно-Опытного лесхоза БГИТА); проведение интерактивного анализа не покрытых лесом земель (кв. 6 Опытного лесничества).

Для оптимизации классического цикла фотограмметрической обработки по маршруту съемки из аэроснимков 1:12000 масштаба составляется блок (маршрут); на нем находятся опорные точки, координаты главных точек или дисторсия, связующие точки; производится аналитическая фототриангуляция, ее уравнивание, рассчитываются пространственные фотограмметрические координаты; геодезические координаты, выполняется эпиполярное трансформирование, строится стереофотограмметрическая ЦМР, ЦМД; производится ортофототрансформирование, в модуле Solver производится ортофотомозаика. Следовательно, оптимизация есть полная автоматизация в фотограмметрической сети Photomod.

При этом имеется в виду, что в цифровых фотограмметрических системах необходимо построение цифровых моделей рельефа ЦМР, земной поверхности ЦМЗП, которая включает точки земли, точки растительности и точки, отраженные от зданий и сооружений. При обработке данных и классификации точек земли и растительности становится возможным построение цифровой модели земной поверхности и цифровой модели растительности ЦМР (электронной поверхности растительности).

Сегментом между ЦМР и ЦМЗП является цифровая модель высотной структуры совокупности деревьев и древостоя (ЦМД), которая представляет собой основной элемент дешифрирования. Цифровая модель древостоя служит основой для получения морфологических параметров деревьев и их совокупностей, с использованием статистических методов, осуществляется расчет параметров трехмерных моделей кроновых структур рядов распределения деревьев по диаметру, высоте, сумме площадей поперечных сечений.

Оценка качества построения свободной сети объекта аэросъемки и сканирования нами произведена по оценке точности взаимного ориентирования снимков. По допуску было взято по координатам X и У – ΔX и ΔУ – 1 м, ΔH – 0,8 м. Для маршрута это составило: средние ошибки ΔX – 0,01 м, ΔУ – 0,18 м, по высоте рельефа 0,2 м; разворот маршрута в градусах - 2°68 определялся по опорным точкам 17531 и 10741 (зона 1 и 3).

Преобразования координат по X, У и высоте (H) при построении ЦМР и ЦМЗП в ранге зон от 0,6 (X) - зона 2 и 3 до 2,9 (У) – зона 1 и 3. Данные взяты по линейному уравнению. В разрезе зон (1 и 3, 1 и 4, 2 и 3) имеет место отклонения по X от 0,9 до 2,9 м по линейному уравнению. Преобразование координаты по высоте шло с отклонениями от 0,65 м (зоны 1 и 3) до 1,3 (квадратичное уравнение) и от 0,6 до 1,2 м (2 и 3 зоны кубичное уравнение).

Проверка по контрольным точкам преобразования координат по X и У (3 опорные точки) от 0,6 до 1,7 м по высоте 0,55 м. В последних двух случаях расчет велся по параболе третьего порядка.

Остаточные невязки координат по X и У по контрольным точкам составили в среднем по линейным уравнениям от 0,9 до 6,5 м; по высоте от 0,55 до 1,7 м.

Естественно, интересна цифровая модель стволов и крон деревьев, интегрированная с цифровой моделью рельефа. В результате получается полная трехмерная структура древостоя; плановая проекция полога древостоя аналогична той, которая наблюдается, при дешифрировании аэроснимков на интерпретоскопе. На этой плановой проекции можно отразить точки, соответствующие различным элементам рельефа. При этом они кодированы цветом.

Предлагаемый метод обеспечивает детальную сегментацию модели высоты дерева и древостоя в отдельные части деревьев (крона, отдельные ветви, ствол) и может использоваться для биометрической оценки отдельных деревьев и древостоев в целом.

При дешифрировании средней высоты при 3-Д моделировании древостоя, среднего диаметра ствола, суммы площадей поперечных сечений стволов, объемов стволов и их биомассы получены средние квадратические ошибки, соответственно: 4,5%, 10%, 10-12%, 10%.

Такой метод обеспечивает обработку дешифрирования и эффективного использования трехмерных данных дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения в системе мониторинга лесного покрова, касающихся закономерностей пространственного распределения структурных компонентов и биомассы лесных экосистем. Ожидается, что развитие данного метода позволит создавать достоверные и высокоточные лесные карты и базы данных различного тематического содержания, которые найдут применение в различных сферах использования, включая оперативный мониторинг природных экосистем, стратегическое планирование леса и природопользования, объективную оценку параметров состояния и динамики лесных насаждений и оценку различных природных рисков.

Точность определения структуры насаждений, оценка их запасов повышается с использованием рядов распределения деревьев по основным морфометрическим признакам – диаметру и высоте, протяженности крон, поскольку они тесно взаимосвязаны и тесно коррелируют между собой.

В среде ГИС Photomod можно производить построение рядов распределения по морфологическим показателям, что требует при наземных измерениях, на ТДПП и ТДТВ (таксационно-дешифровочных пробных площадях и таксационно-дешифровочных типичных выделах) гораздо больших затрат.

В рамках данного метода выполняется также попиксельная инструментально-измерительная таксация и изучение структуры лесных насаждений; выполняется (с высокой степенью точности) дистанционная оценка состояния насаждений и динамика лесных ресурсов в целях оперативного экологического контроля.

Полученные результаты послужат основой для развития новой технологии дистанционного зондирования лесного покрова и формирования геоинформационных систем природноресурсного и природоохранного содержания.

Литература

1. Данилин И.М. Морфологическая структура, продуктивность и дистанционные методы таксации древостоев в Сибири: Автореферат диссертации докт. с-х. наук: 060302. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, 2003, 35с.
2. Родин С.А. Интеграция дистанционных методов и информационных технологий – перспективное направление научных исследований // Информационные технологии в науке, образовании и промышленности. Мат. Науч. Междунар. Конф., 12-14 мая 2005г., Архангельск. Архангельск: Соломбальская типография, 2005, с 284-289.
3. Сухих В.И., Жирин В.М. Об информативности материалов космических съемок, получаемых с современных гражданских космических аппаратов // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: докл. III Всерос. Конф., 18-19 апр. 2002г., Москва М.: ЦЭПЛ РАН, 2002 с. 207-213.

MONITORING OF GREEN ZONE FORESTS SUPPORTED BY THE DIGITAL AERIAL AND SCANNER SHOOTING

T. Beryestova

Bryansk State Academy of Engineering and Technology

The modern technologies of geoinformatics supported by the digital photogrammetry applied to the ecological monitoring of the green zone forests are examined in the paper.

СИСТЕМА ПРОГНОЗА ПОВЕДЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА БАЗЕ ГИС

А. В. Волокитина, М. А. Софронов, М. А. Корец, И. А.Михайлова, Т. М. Софронова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск.

В понятие *поведение пожара* желательно включать: 1) распространение пожара по данной территории; 2) динамику скорости и интенсивности пожара; 3) развитие пожара (например, переход низового пожара в верховой); 4) оценку последствий пожара (в виде повреждения древостоя и биогеоценоза в целом) [2].

Прогнозирование поведения природных пожаров необходимо для успешного управления ими. Прогноз поведения обнаруженного пожара позволяет рассчитать оптимальное количество сил и средств для его тушения. Используя прогноз поведения крупного пожара, можно предусмотреть опасные тенденции и ситуации в его распространении и развитии (вероятность угрозы населенным пунктам или ценным объектам и т. д.) и составить оптимальный план управления этим пожаром. Сценарии распространения пожара и его последствий на определенной площади при различных погодных условиях необходимы для выбора оптимального времени и оптимальной технологии целевых выжиганий.

В некоторых странах уже существуют и совершенствуются системы для прогноза поведения природных пожаров. Например, в США – система BEHAVE [6], в Канаде – система FBP (Fire Behavior Prediction) [7].

Нами разработана принципиальная схема Российской системы поведения природных пожаров (рисунок).

Рисунок. Принципиальная схема системы прогноза поведения природных пожаров

Ее ключевые элементы - *информационная база* и *метод прогноза поведения пожаров.* Главным вопросом является **прогноз поведения низовых пожаров**, поскольку более 90 % количества пожаров – низовые, они дают более 80 % пройденной огнем площади. Кроме того, верховые и почвенные пожары развиваются обычно из низовых пожаров.

Информационная база должна содержать пирологическую характеристику каждого однородного участка растительности, которая включает информацию о комплексах растительных горючих материалов, их свойствах, состоянии, об условиях, влияю-

щих на высыхание, увлажнение и горение. Пирологическая характеристика участков может быть *типовой* и *индивидуальной*.

В США и Канаде используется типовая характеристика: каждый участок растительности относят к одной из 13 “топливных моделей” (в BEHAVE) или к одному из 16 “типов горючего” (в FBP) [6, 7]. Очевидно, что такая характеристика является достаточно грубой, учитывая разнообразие растительного покрова.

Сейчас в России разрабатывается вариант системы с индивидуальной пирологической характеристикой участков растительности в виде крупномасштабных карт растительных горючих материалов (включая пирологическое описание их выделов). В Институте леса им. В. Н. Сукачева Российской академии наук разработаны простой метод и недорогая технология составления таких карт. Идея метода заключается в максимальном использовании имеющейся лесоустроительной информации для составления карт, в том числе компьютерным способом [1]. Это возможно благодаря тому, что в России лесоустроительная информация включает сведения о типах леса в каждом выделе.

Картографирование растительных горючих материалов (РГМ) базируется на их классификации в виде деления на группы и типы. Очень важное значение имеет классификация группы основных проводников горения (ОПГ) из напочвенного покрова. Эта группа включает мхи, лишайники и мелкие растительные остатки. В этой группе выделено 8 типов и экспериментально определена их характеристика [1].

К крупномасштабной карте РГМ прилагается пирологическое описание участков (выделов), пронумерованных на карте. В пирологическом описании указываются состав древостоя по ярусам, его возраст и полнота, экспозиция и крутизна склона, тип ОПГ (для весны и лета). В зависимости от типа ОПГ, состава и полноты древостоя указывается для весны и для лета *критический класс засухи,* (т. е. такой лесопожарный класс засухи, при котором данный участок растительности достигает состояния готовности к горению).

Карты РГМ и пирологическое описание выделов можно составлять автоматизированным способом на базе ГИС, используя лесоустроительную информацию (планшеты и таксационные описания). Типы ОПГ в таксационных выделах определяются через указанные в их описании типы леса, поэтому предварительно составляется таблица с указанием типов ОПГ в каждом используемом типе леса [3].

ГИС объединяет информацию из различных источников, что позволяет проверять, уточнять и дополнять лесоустроительную информацию. В Институте леса им. В.Н.Сукачева СО РАН создается ГИС для Красноярского края. В качестве основных ее компонентов выступают аппаратурно-программные средства, интегрированная база картографических и лесотаксационных данных, аналитический блок. Система создана на базе персональных компьютеров класса Pentium IV и программных пакетов ArcGIS 9, ArcView 3.2 и Spatial Analyst. Применяются также системы анализа изображений ERDAS 8.7.

ГИС содержит материалы последнего лесоустройства на отдельные лесхозы Красноярского края. В 1995-96 гг. нами была выполнена работа по адаптации программы автоматизированного составления пирологического описания (на основе таксационного) для условий Большемуртинского лесхоза Красноярского края [4]. В 2004 году такая же работа выполнена для территории памятника природы “Мининские Столбы”.

Программа, введенная в ГИС, позволяет составлять крупномасштабные карты РГМ отдельно для весеннего (осеннего) и летнего периодов на необходимые участки. На основе этих карт, также автоматизированно, составляются карты текущей природной пожарной опасности для разных классов засухи.

Для прогноза распространения низового пожара необходима модель. Существу-

ет много различных моделей, описывающих распространение горения при низовых пожарах. Но наиболее полное информационное обеспечение в настоящее время имеет только модель М. А. Софронова [3, 5], благодаря разработанной нами классификации растительных горючих материалов и методов их картографирования [1].

Принцип этой модели очень простой: базовая скорость распространения горения ($\mathbf{V_o}$, м/мин) умножается на переменные коэффициенты независимого влияния главных факторов: ветра ($\mathbf{K_W}$), относительной влажности воздуха ($\mathbf{K_r}$) и уклона поверхности ($\mathbf{K_\varphi}$):

$$\mathbf{V = V_o \cdot K_W \cdot, K_r \cdot K_\varphi,}$$

где **V** - скорость распространения горения, м/мин .

Для прогнозирования поведения пожара необходимо иметь информационную базу, которая обязательно должна включать карты растительных горючих материалов (1 :10 0000 – 1 : 50 0000) на район действия пожара и пирологическое описание выделов (участков) этой карты.

Еще необходимы следующие таблицы:

1. Характеристика типов основных проводников горения. В таблице указаны: базовая скорость распространения горения ($\mathbf{V_o}$, м/мин) и поверхностная теплота сгорания слоя ($\mathbf{Q_{lr}}$, МДж/м^2), в зависимости от величины метеорологического показателя пожарной опасности и условий высыхания.
2. Коэффициенты влияния полноты древостоя на скорость ветра под пологом леса.
3. Коэффициенты относительного влияния ветра, относительной влажности воздуха и уклона поверхности на скорость распространения кромки низового пожара.

Характеристики типов ОПГ и коэффициенты влияния факторов были определены нами экспериментально [1, 5].

Необходима также метеорологическая информация на данный день, которая включает сведения о величине метеорологического показателя пожарной опасности, о направлении и скорости ветра и об относительной влажности воздуха. Очень полезен метеорологический прогноз на ближайшие часы и последующие дни.

Прогнозирование поведения пожара идет в несколько этапов. Вначале оценивается **состояние готовности к горению** участков растительности вокруг очага пожара - в связи с уровнем засухи. Для этого определяется лесопожарный **класс засухи (КЗ)** сегодняшнего дня по величине метеорологического показателя пожарной опасности (В.Г.Нестерова, ПВ-1 ЛенНИИЛХа): I КЗ – до 300 ед.; II КЗ – 301-1000 ед.; III КЗ – 1001-3000 ед.; IV КЗ – 3001-10000 ед.; V КЗ – 10001-30000 ед.; VI КЗ – более 30000 ед. После чего оценивают готовность к горению участков вокруг пожара. Для этого сравнивают класс засухи сегодняшнего дня с критическими классами засухи, которые указаны по каждому выделу в пирологическом описании. Если класс засухи меньше критического класса - то состояние готовности **"***негоримое***"**, если больше критического - то состояние готовности *"горимое"*, при равенстве текущего класса засухи с критическим классом состояние *"переходное"***.** Выделы на карте РГМ раскрашивают или штрихуют в соответствии с этими тремя градациями: *1) готовые к горению, 2) не готовые к горению и 3) имеющие неопределенное (переходное) состояние.* Неопределенность в оценке состояния готовности к горению выделов устраняется экспертным путем, используя профессиональный опыт и дополнительную информацию (например, анализ характера уже пройденных огнем участков и др.). В итоге получается **карта готовности к горению участков растительности** вокруг пожара.

Затем прогнозируются **скорость распространения и интенсивность горения**

на участках - в соответствии с метеорологической информацией по указанной выше модели. Процесс моделирования распространения **контура пожара** делается вначале по четырем направлениям: фронт, фланги и тыл. При прогнозе распространения контура пожара учитываются не только негоримые участки, но и линейные преграды.

Прогнозирование интенсивности кромки пожара (I_{sf}, кВт/м) необходимо для оценки трудности контролирования пожара и для определения возможных последствий. Интенсивность пожара на каждой части кромки оценивается по формуле:

$$\mathbf{I_{sf} = 17\, Q_{lr} \cdot V},$$

где $\mathbf{Q_{lr}}$ – поверхностная теплота сгорания слоя, МДж/м^2;

V – расчетная скорость распространения кромки пожара, м / мин.

Для оценки возможного отпада в древостое после пожара составлена таблица. В ней указан отпад (в %), в зависимости от древесной породы (сосна, ель, лиственница, береза), среднего диаметра древостоя и прогнозируемой интенсивности пожара [3].

Литература

1. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. - Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2002. - 314 с.
2. Волокитина А. В., Софронов М. А., Карнаухова Е. А. Прогнозирование поведения и последствий низовых пожаров с использованием крупномасштабных карт растительных горючих материалов // Лесное хозяйство, 2004, № 1. С. 41 – 43.
3. Волокитина А. В., Софронов М. А., Софронова Т. М. Прогноз поведения низовых пожаров на основе карт растительных горючих материалов. (Учебное пособие). – Красноярск, 2005. – 94 с.
4. Волокитина А. В., Черкашин В. П., Качаев А. В., Михайлова И. А., Корец М. А., Карнаухова Е. А. Составление крупномасштабных карт растительных горючих материалов на базе ГИС // Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве (Мат. Второго Всерос. совещания). М., 1998. - С. 181 – 183.
5. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. - М.: Наука, 1967.- 152 с.
6. Burgan R.E., Rothermel R.C. Behave: Fire Behaviour Prediction and Fuel Modeling System/USDA Forest Service. – General Technical Report INT-167, 1984.- 126 p.
7. Forestry Canada, Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System. Science and Sustainable Development Directorate. Inf. Rep. ST-X. Ottawa, 1992. - 63 p.

WILDFIRE BEHAVIOUR PREDICTION SYSTEM ON THE BASIS OF GIS

A. Volokitina, M. Sofronov, M. Korets, T. Mikhailova I., T. Sofronova

The paper considers the need to create the Russian wildfire behaviour prediction and fire effects system, the principle scheme of the system and its main elements.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРТАТИВНЫХ GPS ПРИЕМНИКОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ю. С. Галкин, А. Н. Щербаков, Д. Ф. Налдее, В. С. Шалаев

Московский государственный университет леса, г. Мытищи

Технологические процессы организации и ведения лесного хозяйства включают в себя значительное число координатных определений. Необходимые топографо-геодезические работы в последнее время все в большей степени проводятся с использованием GPS приемников разных типов, т.к. в этом случае измерения проводятся бригадой минимальной численности, камеральная обработка максимально автоматизирована и может проводиться на базе полевой партии в день исполнения работ (контроль каче-

ства), и результаты непосредственно могут быть использованы в современных ГИС – продуктах. Кроме того, применение GPS – технологии в лесном хозяйстве повышает интеллектуализацию и престижность соответствующих специальностей.

Учитывая широкое распространение применения GPS – технологий несколько десятков фирм в мире выпускают более сотни разновидностей GPS – приемников с большим разбросом функциональных и потребительских характеристик: от высокоточных, но громоздких и дорогих, до портативных и дешевых, но малоточных.

Однако, значительные объемы лесоустроительных и лесопользовательских работ, кроме юридически ответственных (границы землепользования, инженерные и строительные и т.п. объекты) допускают относительно невысокие точности измерений, лишь соответствующие требованиям лесных планшетов и используемых ГИС продуктов. Эти требования к точности лежат в диапазоне от метров до десятка метров, что может позволить применять портативные GPS приемники, имеющие массу в сотню грамм и стоимость 200 - 1000 долларов.

Разработкой, выпуском и продажей портативных приемников в настоящее время занимаются более десятка фирм в различных странах.

Мировыми брендами стали такие фирмы как Garmin, Magellan, Humminbird, Furuno, GlobalSat и др. Номенклатура выпускаемых приборов превосходит многие десятки типов. В работе были использованы портативные приемники фирмы Garmin моделей eTrex, GPS12 и GPS60C. Установленные в одной точке они давали одинаковые отсчеты с точностью единицы последнего разряда, что свидетельствует о возможности распространения результатов исследований на весь модельный ряд данной фирмы. Для всего ряда фирмой заявлена погрешность определения координат ±15 м при любых измерениях без использования DGPS и WAAS коррекции, удовлетворяющая требованиям бытового применения. Однако опыт применения портативных приемников для профессиональных работ показывает, что формальное использование указанной величины неправомерно для оценки точности измерений, которая существенно зависит от методики проведения измерений, включающей хотя бы простейшую геодезическую обработку: усреднение, замыкание, уравнивание и привязки. Результаты проведенных исследований подтверждают указанное положение, которое иллюстрируется приводимым примером.

Исследования проводились на пунктах государственной геодезической сети, координаты которых были известны и принимались за эталонные.

На каждом пункте бралось по 20 отсчетов GPS, что позволяет оценивать инструментальную точность величиной 0.7 метра. На рисунке приведены уклонения отсчетов от эталонных значений до обработки (B – по широте, C – по долготе) и после обработки (D – по широте и E – по долготе). Численные значения результатов приведены в таблице.

Таблица

Погрешности отсчетов GPS по сравнению с эталонными

Вид погрешности	Без обработки (м)	С обработкой (м)
Систем. погр. по широте	+12	0.0
Систем. погр. по долготе	+2.8	-0.2
СКО по широте	12.6	2.0
СКО по долготе	3.1	1.1

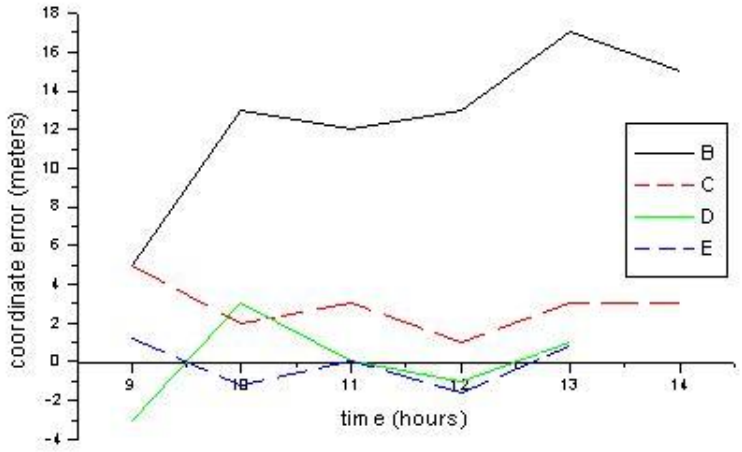

Рисунок. Графики уклонений отсчетов GPS от эталонных значений

Таким образом, показано, что бытовые портативные GPS приемники могут быть использованы в профессиональной деятельности в лесной отрасли, но и измерения должны проводиться не по бытовой, а профессиональной методике. При этом невязку удобно определять на базе при начале и окончании хода измерений, а привязку – примерно в середине хода.

USE OF THE PORTABLE GPS RECEIVERS FOR FOREST SERVICE

Yu. Galkin, A. Scherbakov, D. Naldeev, V. S. Shalaev

Moscow State Forest University, Mytischi, Moscow region

It is shown the metrological attributes of the modern portable GPS receivers used by the forest service. The accuracy of them was tested by field works in real conditions and there is suggested some methods of improving of the measurement accuracy in the presentation.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОГЛАСОВАННОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ГИС ПРОДУКТАМИ И GPS ИЗМЕРЕНИЯМИ

Ю.С. Галкин, А.Н. Щербаков, Д.Ф. Налдеев, В. С. Шалаев

Московский государственный университет леса, г. Мытищи

В настоящее время дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса находит все большее применение в решении актуальных экономических, социальных и научных задач. Одним из активных потребителей космической продукции является лесная отрасль хозяйства, которая влияет на определяющую часть континентальной (да и планетарной) экологии и рационализации природопользования. Столь масштабная сфера ответственности требует применения принципов устойчивого управления лесами и постоянного совершенствования их на основе современных цифровых технологий, геоинформационных систем и информации ДЗЗ.

Тенденция развития космической техники дистанционного зондирования, направленная на повышение точности и разрешающей способности космических изображений, увеличивает объемы информации, сообщаемой потребителю, которые он дол-

жен добавлять в уже имеющиеся ГИС продукты, созданные, как правило, под задачи в момент начала информатизации. В этом случае возможны координатные нестыковки объектов, причиной которых может быть как их разномасштабность, так и неточности трансформирования поступивших изображений. Предварительной оценке влияния указанных причин посвящена данная работа.

Оценка проведена для двух снимков сверхвысокого разрешения: Ikonos – 1 м и QuickBird - 0.6 м. Независимое определение координат точек проводилось портативным GPS приемником Garmin 12 с дополнительной обработкой результатов.

Оценка метрических свойств приемника проведена по 10 отсчетам на 4 пунктах государственной геодезической сети, пересчитанных в систему WGS-84. Результаты показаны в табл. 1.

Таблица 1

№№ точек	$N_{GPS} - N_{ГГС}$ (м)	$E_{GPS} - E_{ГГС}$(м)
1	2.0	1.2
2	0.4	1.2
3	0	0
4	-2.8	0.9
Среднее	-0.1	0.8
СКО	1.7	1.4

СКО определялась по уклонениям от эталона.

Определяемые точки на снимках выбирались по периметру на расстояниях 2 -12 км друг от друга. Было выбрано 5 хорошо опознаваемых и доступных для измерителей точек. Измерения и обработка проводились по той же методике как на пунктах ГГС. Результаты приведены в табл. 2 и 3 для Ikonos и QuickBird соответственно. Знак Δ означает уклонение от эталона (данные GPS), а знак δ – уклонение от среднего.

Таблица 2

№№ точек	ΔN (м)	δΔN (м)	ΔE (м)	δΔE (м)
1	-10.3	-0.9	6.3	0.1
2	-8.7	0.7	9.0	2.8
3	-6.3	3.1	2.4	-3.8
4	-11.0	-1.6	7.5	1.3
5	-10.8	-1.4	5.8	-0.4
Сред.	-9.4		6.2	
СКО	9.6	1.8	6.6	2.2

Таблица 3

№№ точек	ΔN (м)	δΔN (м)	ΔE (м)	δΔE (м)
1	-2.8	-1.8	0.1	1.8
2	-1.3	-0.3	0.3	2.0
3	-3.8	-2.8	-2.0	-0.3
4	0.7	1.7	-1.5	0.2
5	2.2	3.2	-5.5	-3.8
Сред.	-1.0		-1.7	
СКО	2.4	2.2	2.7	2.1

Из сравнения данных таблиц 2 и 3 с результатами табл. 1 можно сделать заключение, что снимок с Ikonos отцентрирован неточно, с ошибкой примерно 11 метров, а второй снимок, с учетом точности измерений, следует признать точным. Деформация изображений, с учетом точности измерений, отсутствует.

В табл. 4 приведены условия, на основе данных из опубликованных источников (Цветков В.Я., Маслов А.А), взаимного соответствия ГИС основы и требуемых координатных точностей снимков и их пространственного разрешения (в метрах).

Таблица 4

Знаменатель ЦМР и ЦММ	Твердая точка	Нетвердая точка	Разрешение
10000	1	4	2
25000	2.5	10	6
100000	10	40	23
250000	25	100	55
500000	50	200	250

Таким образом, данное исследование свидетельствует, что проблема взаимного согласования ГИС продуктов, картматериалов и космических снимков существует. Основой согласования целесообразно принять данные GPS измерений, а методику разработать с учетом целевых задач отрасли.

PRELIMINARY ESTIMATION OF THE SPACE IMAGE CO-ORDINATION WITH GIS PRODUCTS AND GPS MEASUREMENTS

Yu. Galkin, A. Scherbakov, D. Naldeev, V. Shalaev

Moscow State Forest University, Mytischi, Moscow region

It is shown comparison of the GPS measurements with the space imaging data. It is suggested to do additional correction the space images (maybe ground) especially for the large scale GIS.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБОРОВ СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДСКИХ ООПТ

Д. А. Евтеев[1], Г. В. Шашкова[2]

[1]"Навгеоком", г. Москва, [2]Институт лесоведения РАН, Московская обл.

За последние годы количество особо охраняемых природных территорий (ООПТ) г. Москвы заметно увеличилось. Их создание обусловлено необходимостью сохранения и восстановления ландшафтов, природных сообществ, растительного и животного мира, а также объектов историко-культурного наследия в условиях использования территории природных заказников в познавательных, рекреационных и оздоровительных целях.

Лес – важнейшая составляющая экосреды любой охранной территории г. Москвы и, естественно, что преобладающая часть площадей ООПТ города занята лесными насаждениями. По существующим на сегодняшний день методикам инвентаризация городских насаждений проводится в два этапа, сначала в поле работают лесоводы: нумеруют деревья и делают их описания (у каждого дерева должны быть определены порода, санитарное и декоративное состояния, измерен диаметр на высоте 1,3 м, указан возраст.; для кустарников и живых изгородей определяется порода и их количество, возраст), а затем геодезисты проводят съемку местности (создается план месторасположения деревьев и кустарников с указанием площадей последних) и далее составляется паспорт участка.

К сожалению, данных по инвентаризации насаждений практически нет ни в одном природном заказнике (ПЗ), что связано с трудоемкостью данной работы. Важно понимать, что, с одной стороны, без этих данных невозможно проведение работ по сохранению и восстановлению природного комплекса и биологического разнообразия, а с другой, рациональной пространственной организации и использования его территории.

Технологии ГИС для лесного хозяйства молоды, еще не сформировался сколько-нибудь обширный опыт их использования. Но у них есть большая перспектива использования для создания необходимых тематических карт, а самое главное – атрибутивных

таблиц, которые с успехом могут заменить бумажные паспорта участков при инвентаризации насаждений.

Задача инвентаризации объектов на местности, так или иначе, сопряжена с созданием картографической продукции. Карты, планы, каталоги координат, описания являются результатом подобных работ, не только предоставляя пространственную привязку, но и характеризуя качественные и количественные параметры объектов. Проведение подобных изысканий характерно для многих отраслей хозяйства, но именно для лесной отрасли можно определить круг характерных проблем, связанных с подобными видами деятельности.

Пространственная привязка объектов сочетается с выполнением измерений, необходимых для составления чертежей, планов и карт. На данный момент, геодезия, как прикладная наука, может предложить лесоводам целый спектр различных устройств и методик, позволяющих выполнить съемку местности. Это могут быть и приборы дистанционного зондирования (аэрофотокамеры, лазерные сканеры и т.д.), традиционные геодезические инструменты (теодолиты, буссоли и т.д.), приборы спутникового позиционирования (приемники сигналов спутников). Необходимо заметить, что в связи с особенностями проведения геодезических работ в условиях лесной растительности, сложно выделить «универсальный» прибор для решения всех задач.

В рамках статьи ставится задача рассмотреть возможность использования технологий спутникового позиционирования и ГИС-картографирования в целях создания инвентаризационных планов лесов.

Технология спутникового позиционирования обладает рядом преимуществ, по сравнению с прочими технологиями съемки местности.

В отличие от традиционной геодезической съемки, выполняющейся оптическими приборами, GPS-позиционирование не требует прямой видимости объекта съемки с опорной точки. Отдельные объекты, подлежащие инвентаризации, могут быть не различимы на аэрофотоснимке, в то время как при наземной съемке они легко распознаются исследователем. Для полевых работ в условиях залесенной местности это преимущество может иметь определяющее значение.

Однако особенности технологии GPS-позиционирования не позволяют использовать для целей картографирования лесов всю аппаратную базу устройств. Спутниковый сигнал малой мощности при прохождении сквозь листву подвергается значительным изменениям. Это влечет уменьшение соотношения мощности сигнала к общему шуму, результатом чего является не распознавание сигнала приемником. Также сигнал подвергается многократному переотражению от стволов деревьев, что ведет к возникновению значительных ошибок позиционирования.

Для работы в настолько сложных условиях необходимы приборы, обладающие чувствительными антеннами, встроенными алгоритмами подавления переотражения, использующие дифференциальные методы позиционирования. Использование GPS-навигаторов, применяющих методы абсолютного позиционирования, было признано недостаточным из-за значительных ошибок местоопределения положения (десятки метров). Использование фазового дифференциального метода также крайне затруднительно, вследствие того, что набрать достаточное количество наблюдений для разрешения фазовой неоднозначности в условиях густой листвы удается только за очень продолжительные периоды наблюдений (более 2-х часов).

В рамках данной работы осуществлена попытка провести инвентаризацию лесных насаждений двух участков ПЗ "Долина реки Сетунь", располагающихся в пойме р. Сетунь, с целью опробовать прибор спутникового позиционирования предназначенный для решения задач картографии Trimble GeoExplorer XT для подробного картирования

насаждений на двух участках: с отдельно стоящими группами деревьев и в пойменном лесу.

Для решения этой задачи был использован метод кинематической съемки по коду и по фазе несущей с последующей постобработкой. Базовая станция располагалась на территории МГУ, на удалении около 5 километров.

Участок № 1 находится в средней части поймы р. Сетунь. Среди древесных пород преобладает ива ломкая (разновозрастная), встречаются ива козья, береза пушистая и ольха серая. Среди кустарников также преобладает ива ломкая, встречаются ива козья, боярышник.

Деревья на данной территории не образуют плотного полога и стоят разрозненно, это дало возможность использовать не только кодовые измерения, но и вести наблюдения по фазе несущей. Съемка проводилась с высоким уровнем точности определения объектов. И если в случае позиционирования деревьев оценка точности (СКО) варьировала и была выше 70 см (в отдельных случаях выше 20 см), то для кустарниковых форм этот показатель был выше 30 см (в отдельных случаях 10 см).

Построенный план существующих насаждений (участок № 1) был использован при создании проекта восстановления и реконструкции данного участка заказника.

Участок № 2 находится в 10 м от русла р. Сетунь. Среди древесных пород абсолютно доминирует ива ломкая (разновозрастная). Существенной трудностью этого участка является большой разброс диаметров деревьев (максимальный – 98 см и минимальный – 9 см) и наличие отдельно стоящих молодых ив с диаметрами до 5 см.

Местность отличается высокой степенью залесенности, что во многом затрудняет съемку. Из-за высокого уровня преобразования сигналов, в основном были использованы кодовые методы позиционирования. Это несколько снизило показатели по точности, но в целом, дало возможность провести инвентаризацию всех необходимых объектов. Точность нанесения объектов варьировалась от 1.5 метров до 50 см. В столь сложных условиях подобный результат представляется очень высоким.

Также был проведен дополнительный контроль точности. Съемка велась в постобработке, поэтому данные, скорректированные с учетом данных с базовой станции, использовались в качестве векторной подложки. Проверка велась с приемом кодовых поправок в реальном времени. Отдельные снятые объекты выбирались как цели для навигации, что позволило оценить реальный разброс ошибок. По проведенным тестам он невелик и составляет от 0.5 до 1.7 м. Выше оценить точность методом приема кодовых поправок в реальном времени не представляется возможным в связи с тем, что точность такого позиционирования субметровая.

Так как картографирование велось в среде мобильной ГИС – Trimble TerraSync, удалось не только определить расположение объектов, но и присвоить атрибутивную информацию. Для деревьев – это возраст, диаметр ствола, состояние и пр. Таким образом, результаты съемки были выполнены по общей форме, а затем были представлены в виде отдельного слоя в среде ArcGIS ESRI. Это позволило не только быстро интерпретировать результаты и проводить классификацию объектов по характеристикам, но и значительно снизить вероятность ошибки в описании, как если бы такая работа велась на отдельных носителях.

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

- при детальной инвентаризации существующих насаждений на городских ООПТ использование приборов спутникового позиционирования является вполне обоснованным;
- наиболее подходящими для решения подобных задач представляются приборы картографического класса;
- точность позиционирования вполне удовлетворяет целям инвентаризации;

• повышение точности возможно при проведении процедур планирования съемки и использования фазовых наблюдений;
• контроль за точностью можно осуществлять как по статистическим параметрам получаемых данных, так и используя различные технологические схемы ведения съемки (работа в реальном времени);
• возможности полевых ГИС позволяют не только определить местоположение объекта, но и полностью описать его в соответствии с требованиями технического задания;
• внесение в среду мобильной ГИС описаний объектов одновременно с проведением съемки значительно уменьшает вероятность случайной ошибки;
• при высоком варьировании диаметров стволов деревьев возникает необходимость игнорировать некоторые стволы деревьев (участок № 2).

THE USE TEST OF POSITIONING SYSTEM INSTRUMENTS ON REALIZATION TREES INVENTORY IN THE URBAN NATURAL PRESERVE

D. Evteev[1], G. Shashkova[2]

[1]NAVGEOCOM, Moscow, [2]Institut of Forestry, Moscow region

The inventory of trees has a big practical importance, because without these data, from the one hand, it's impossible to preserve and restore natural complex and, from the other hand, to make the most efficient use of preserve territory. The problems related to inventory of trees are discussed in the article. We tested The Trimble GeoExplorer XT for some of these problems solving.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НИЗКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Д. В. Ершов, Г. Н. Коровин, Е. Н. Сочилова, А. И. Уткин, О. В. Честных

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Информация о лесных горючих материалах (ЛГМ) применяется для решения, как оперативных задач мониторинга лесных пожаров, так и для оценки их последствий. Под картографированием лесных или лесных горючих материалов (ЛГМ) понимается создание информационной пространственно распределенной базы данных для прогноза поведения лесных пожаров, мониторинга пожарной опасности и оценки последствий от лесных пожаров.

Мелко- и среднемасштабные карты ЛГМ в сочетании с наземными и спутниковыми метеорологическими измерениями предназначены для моделирования поведения крупных лесных пожаров и оценки пожарной опасности по регионам, федеральным округам и в целом по всей территории РФ. Сведения о запасах ЛГМ до пожара в сочетании с данными о его типе и интенсивности горения используются при инвентаризации последствий лесных пожаров и оценки размеров пожарных эмиссий парниковых газов в атмосферу Земли.

Пространственная структура и средние запасы ЛГМ на федеральном уровне определяются на основе комплексного анализа основных типов наземных экосистем Северной Евразии, баз данных учета лесного фонда и данных по продуктивности и фито-

массе в преобладающих типах условий местопроизрастания (ТУМ) растительности на территории лесного фонда Российской Федерации.

Цифровая модель рельефа, карты основных типов почв и лесных экосистем используются для восстановления гидрологического режима лесных территорий. На основании влагосодержания и плодородия почв можно провести классификацию лесов по основным типам условий местопроизрастания растительности и подобрать соответствующие топливные модели. В России накоплен обширный исследовательский материал по изучению типов леса и основных проводников горения ЛГМ. Однако разнообразие типов леса и напочвенных покровов чрезвычайно велико, что вызывает определенные трудности при разработке методов и алгоритмов картографирования ЛГМ низкого пространственного разрешения.

DEVELOPMENT OF A LOW-RESOLUTION SATELLITE AND GROUND BASED FOREST FUEL DATABASE

D. Ershov, G.Korovin, E. Sochilova, A.Utkin, O. Chestnykh

Center of forest ecology and productivity problems RAS, Moscow

The low-resolution forest fuel database is used for developing of national fuel model map, burn severity and Carbon emission assessment. The fuel model map will be used in the next generation fire danger rating system, but it also made possible immediate development of a satellite and ground based fire potential index map.

The digital map is derived through use of previously mapped land cover classes of GLC-2000 map and soil types, and extensive ground sample data of forest biomass. Forest and vegetation condition growing types' classification and filling of the corresponding fuel models is based on the combined analysis of soil humidity and fertility, Digital Elevation Model (DEM), forest cover types, aggregated for forest management units forest inventory data and ground measured samples.

The territory will be stratified according to drainage degree and forest types in order to select and assign appropriate forest fuel models.

ЛАНДШАФТНАЯ ПОДГОТОВКА ЛЕСНОГО СПЕЦИАЛИСТА

Д. М. Киреев, П. А. Лебедев, Е.В. Моногарова, В. Л. Сергеева

Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург

С 1995 года в Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им. С. М. Кирова читается новый курс лекций, проводятся лабораторные и практические работы по дисциплине «Лесное ландшафтоведение». Научной основой этого курса является учение о природных территориальных комплексах и их морфологической структуре.

В начале двадцатого века основоположник ландшафтоведения профессор Санкт-Петербургского Лесного института Г. Ф. Морозов говорил о необходимости именно такой дисциплины, которая должна быть центральной и основной в лесных вузах. Он пишет: «Необходимо учение о земной поверхности, которое знакомило бы с морфологией суши, её динамикой, происхождением, жизнью, распределением различных форм земной поверхности. Связать в один узел сведения из геологии, петро-

графии – разработать методы описания любой страны. Для лесоводов – землеведение и страноведение должны быть ближайшими предметами из числа так называемых основных наук» (Морозов, 1926; 1930).

Г. Ф. Морозов первый выявил ландшафтные единицы различной сложности, образующие иерархический ряд.

В 1950–1980 годах Н. А. Солнцев создает учение о морфологической структуре природного ландшафта, генетическом ряде основных компонентов ПТК: литогенной основе, атмосфере, воде, растениях и животных. Вместе со своими учениками он разрабатывает систему индивидуальных морфологических и типологических единиц ПТК, образующих структуру любого ландшафта (Солнцев, 1949).

В это же время Е. А. Галкина, изучая структуру болот (1940–1980 гг.), выявляет и дает научное обоснование составляющим их морфологическим частям: болотным микро-, мезо- и макроландшафтам. Болота, по Е. А. Галкиной, развиваются, формируют свою структуру на всех фазах развития в зависимости от формы болотной впадины. Именно форма впадины является литогенной основой болота, основой классификации болотных урочищ (Галкина, 1955; 1967).

В 1960–1980 годах учение о морфологической структуре ПТК Д. М. Киреев применяет для изучения лесов по аэроснимкам. Им разработан метод ландшафтных и экологических индикаторов. Этот метод позволяет активизировать использование в ландшафтных исследованиях лесов (1970–2001 гг.) комплекса **ландшафтных источников информации (ЛИИ)**, *который помимо аэрокосмических снимков включает широкий спектр общегеографических, топографических, тематических карт, фондовых и литературных материалов.* Кроме того, разработаны концепция лесного морфологического ландшафтоведения, методы ландшафтно-морфологического анализа лесов (ЛМА), экологической оценки лесных земель (Киреев, 1966–2006).

Объектами ландшафтно-морфологического анализа Земли являются **природные территориальные комплексы** – *исторически сложившиеся и пространственно обособленные единства пяти основных компонентов природы. ПТК образуют иерархическую систему индивидуальных единиц, позволяющих осуществлять ландшафтно-морфологический анализ на различных уровнях и вести ландшафтное картографирование в различных масштабах.*

При классификации сложных ПТК критерием их объединения в типологические категории является сходство их внутренней структуры, которая связана со сходством их происхождения.

Иерархичность системы ПТК позволяет согласовывать различные уровни и масштабы ландшафтного картографирования. Система ландшафтных единиц является научной основой экстраполяции характеристик лесов и способов ведения лесного хозяйства и эксплуатации лесных ресурсов.

Ландшафтные карты, легенды и объяснительные записки к ним, ландшафтные профили, дешифрированные аэрокосмические снимки используются как ландшафтно-морфологическая основа при проведении прикладных исследований лесов.

Курс лекций по лесному ландшафтоведению состоит из семнадцати глав. Первая глава посвящена природным территориальным комплексам лесов как материальным объектам изучения дисциплины, знакомству с методами ландшафтных исследований и историей развития морфологического ландшафтоведения. В последующих восьми главах рассматриваются экологическая оценка лесных земель, строение ПТК, взаимосвязи основных компонентов и элементов ландшафта, сравнительная роль компонентов ландшафта в генетическом процессе формирования ПТК. Строение ПТК, различные сочетания компонентов ландшафта создают экологические режимы земель и определяют особенности возникновения и развития лесных растительных сообществ. Рель-

еф, геологическое строение, литологический состав горных пород и отложений, атмосфера, вода, растения и животные (следы их жизнедеятельности) рассматриваются как компоненты и одновременно ландшафтные и экологические индикаторы ПТК. Особая, восьмая глава посвящается ландшафтно-экологическим свойствам основных древесных пород лесообразователей. Разработан метод выявления экологического ареала растений и зоны экологического оптимума.

Вторая часть курса (восемь глав) посвящается ПТК бореального пояса Земли, их структурным и экологическим свойствам. Рассматриваются природные свойства ПТК, их таксономический ранг, индивидуальные единицы и типологические категории, масштабные уровни ЛМА лесов, классификация ПТК Земли в их зависимости от литологического состава горных пород.

Четыре темы второй части посвящены рассмотрению особенностей формирования структуры ПТК аккумулятивных равнин и болот, денудационных ландшафтов, гор и плато.

Последние три темы посвящены интерпретации ландшафтных источников информации и методическим указаниям по лесному ландшафтному картографированию. В качестве ЛИИ рассматриваются аэрокосмические материалы, общегеографические и тематические карты, фондовые и литературные источники, материалы лесоустройства.

В заключение курса даны направления практического применения ландшафтной основы для согласованного тематического картографирования лесов и лесных земель, оценки и инвентаризации лесных ресурсов, организации лесного хозяйства и лесоэксплуатации, региональной организации землепользования, организации дистанционно-наземного мониторинга лесов, устройства особо охраняемых территорий.

Основной целью учебного курса является ознакомление с основами учения о природном ландшафте. Не менее важной задачей является обучение практическим методам структурного анализа таёжных территорий с широким применением многообразных ландшафтных источников информации.

Для проведения практических занятий, лабораторных и полевых работ организован Лисинский научно-исследовательский и учебный полигон (ЛНИИУП) площадью 120 тыс. га, на который составляется серия согласованных разномасштабных ландшафтных карт и ландшафтных профилей. На ЛНИИУП практиканты обучаются анализу и ландшафтной интерпретации дистанционных аэрокосмических материалов. Обучение проводится методом совмещенного анализа разнокачественных дистанционных материалов с физико-географическими картами различного содержания: топокартами, геологическими картами, картами четвертичных отложений, картами лесов и планами лесонасаждений и т.д. Студенты обучаются ландшафтной интерпретации аэрокосмических снимков, методике построения ландшафтных профилей с использованием существующих картографических и дистанционных материалов.

Эти материалы дают наглядное представление о морфологической структуре и лесных землях, о растительном потенциале и являются ландшафтной основой ведения лесного хозяйства и эксплуатации природных ресурсов. На ландшафтной основе уже́ сейчас решаются некоторые практические задачи. В частности - тематическое картографирование, лесоинвентаризация, мониторинг и др.

Однако круг задач лесного хозяйства наиболее эффективно решаемых с применением ландшафтной основы, может быть существенно расширен. Перечислим некоторые из перспективных направлений.

1. Ландшафтные карты позволяют в короткие сроки составлять серию согласованных *карт многообразных ресурсов* леса: земельных, воздушных, водных, растительных и животных. Эффективность тематического картосоставления, согласованность и сопоставимость карт обеспечивается использованием в качестве исходной контурной и смы-

словой основы – ландшафтной карты. На ландшафтной основе эффективно картографируются *динамические процессы* развития лесов: возрастные, восстановительные смены, послепожарная динамика.

2. Ландшафтная основа существенно *повышает эффективность и темпы инвентаризации* многообразных природных ресурсов леса с применением дистанционных и статистических методов.

3. На ландшафтной основе могут быть наиболее *обосновано назначены лесохозяйственные мероприятия на землях с различными свойствами* (рубки, лесные культуры, лесозащита, мелиорация, уход и т. д.). Положительные результаты ведения лесного хозяйства могут *экстраполироваться* на аналогичные ландшафты одного вида и типа с разработкой обоснованных региональных рекомендаций и нормативов. Для решения этой задачи лесной специалист должен обладать необходимыми знаниями для грамотного ландшафтно-экологического описания объекта, его места работы или исследований в системе ПТК страны. Опыт работы авторов в ученых советах институтов показал, что большинство специалистов не обладают навыками таких описаний. Отсюда неспособность обоснованно экстраполировать выводы на ПТК-аналоги. *Кроме ландшафтного подхода нет удовлетворительных и научно обоснованных методов экстраполяции.*

4. Лесные земли любого лесхоза и региона очень разнообразны по своим природным свойствам и экологическим режимам. Ландшафтная основа обеспечивает организацию научно обоснованной *системы регионального землепользования* в соответствие с природными свойствами земель с целью получения наибольшего экономического эффекта и наименьшего ущерба окружающей среде.

5. Организация дистанционно-наземного *мониторинга лесов*. Знание природной структуры и устойчивости различных ПТК, насаждений и лесных земель к внешним воздействиям позволяет охватить слежением наиболее полно всю лесную территорию и организовать наблюдения с наименьшей затратой средств. Экономия средств достигается за счёт выборочного наблюдения только ранимых лесов.

6. ПТК любого региона создают экологические рамки для развития и распространения определённых видов растений и животных. Поэтому *ландшафтная основа - это в то же время жёсткая основа для изучения биоразнообразия и его динамики* под воздействием внешних факторов. На ландшафтной основе могут выделяться эталонные объекты для установления заповедного режима различной строгости с целью сохранения региональных памятников природы с их биоразнообразием.

Для обучения и стажировки специалистов СПбГЛТА изданы следующие методические и учебные пособия:

Киреев Д. М. Лесное ландшафтоведение. Ландшафтно-морфологический анализ лесов: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2000. 75 с.

Киреев Д. М., Лебедев П. А. Полевое описание ландшафтных фаций: Методические указания. СПб.: СПбГЛТА, 2000. 24 с.

Киреев Д. М., Сергеева В. Л. Лесное ландшафтоведение. Природные территориальные комплексы России: Учебное пособие. СПб.: СПб ГЛТА, 2000. 100 с.

Киреев Д. М. Лесное ландшафтоведение. Текст лекций. СПб.: СПбГЛТА, 2002. 238с.

FOREST SPECIALIST TRAINING FOR LANDSCAPE SCIENCES

D. Kirejev, P. Lebedev, E. Monogarova, V. Sergeeva

Sankt-Petersburg State Forest Technical Academy, Sankt-Petersburg

Investigation of natural territorial complexes of Lyssino´s teaching and scientistical region was used for forest specialist training for landscape sciences.

СЕРИЯ КАРТ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ РОССИИ

Н. М. Киселева

Географический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва,

Леса выполняют важнейшую ландшафтостабилизирующую функцию, являются природным ресурсом и объектом лесохозяйственной деятельности. Универсальность эколого-экономического значения лесов предполагает необходимость использования обширной эколого-географической информации при разработке стратегии устойчивого развития лесного хозяйства России и определении приоритетных направлений лесохозяйственной деятельности в различных регионах страны.

Осуществлять эффективное управление лесами России без специального картографического обеспечения весьма затруднительно. Не умаляя значения статистической информации, следует, наконец, признать необходимость создания специальной серии обзорных мелкомасштабных карт, которые дадут целостное пространственное представление об объекте лесохозяйственной деятельности и позволят реально оценить лесоресурсный потенциал страны. В серию предлагается включить следующие карты:

1.Леса
2.Типы лесных ландшафтов
3.Хозяйственные группы лесов (существующее деление)
4.Хозяйственные группы лесов (рекомендуемое деление)
5.Нарушенность лесов
6.Лесоресурсный потенциал
7.Основные направления лесохозяйственной деятельности

Ориентировочный масштаб карт 1:8 000 000 – 1:7 500 000. Карты предназначаются, в первую очередь, для управления лесным хозяйством России на федеральном уровне. Кроме того, эти карты могли бы широко использоваться как пособие в системе эколого-географического и эколого-лесохозяйственного образования.

Леса. Содержание карты традиционно. На карте показываются леса с подразделением их по породному составу, гари и др.

Типы лесных ландшафтов – основная карта серии, на которой показываются лесорастительные условия ранга природных зон, подзон и высотных поясов. С типом ландшафта связаны такие важные для лесного хозяйства свойства как потенциальная продуктивность древостоя, способность к естественному возобновлению главных пород (хвойных и твердолиственных) на вырубках (после сплошной рубки древостоя) и гарях. Принадлежность лесов к определенному типу ландшафта указывает на условия и наиболее целесообразный режим лесоэксплуатации.

Территория России, обладая значительным разнообразием лесорастительных условий, исследована весьма неравномерно. Целостную систему представлений об условиях лесопроизрастания и естественного лесовозобновления дает схема концепции подобия высотно-поясных типов ландшафтов гор зональным и подзональным типам ландшафтов равнин (Статья Н.М. Киселевой. Вестник МГУ. Сер 5, География. 1990. №5). В соответствии с этой схемой, карта должна давать пространственное представление о географических закономерностях смены типов лесных ландшафтов, обусловленных особенностями климата и рельефа. Карта строится в единой системе дифференциации равнинных и горных территорий. Легенда карты опубликована в монографии «Комплексное экологическое картографирование» (М, 1997). Азональные заболоченные леса не входят в систему подобия ландшафтов. В легенде и на карте они показываются отдельно.

Хозяйственные группы лесов (существующее деление)[1]. Все леса России по режиму эксплуатации поделены на 3 хозяйственные группы. В лесах I группы, имеющих защитно-охранное значение, проведение промышленных рубок запрещено (допускаются рубки ухода, санитарные и лесовосстановительные). В лесах II группы объем промышленных рубок ограничен объемом прироста древесины. В лесах III группы (они делятся на эксплуатируемые и резервные) объем промышленной лесоэксплуатации определяется потребностью экономики России в древесном сырье.

Существующее деление лесов на группы весьма несовершенно. Оно создает ложное представление о лесоресурсном потенциале страны. Справедливость этого суждения подтверждается тем, что в III группу включены почти все горные и заболоченные леса. Например, леса, произрастающие в среднегорных типах ландшафтов, имеют преимущественно ландшафтостабилизирующее значение и не должны рассматриваться в качестве базы для эксплуатации в промышленных масштабах. То же можно сказать и о низкобонитетных лесах, произрастающих в высотно-поясных типах ландшафтов подобных лесотундровым.

Обзорной мелкомасштабной карты, отражающей пространственное распределение лесов по группам, не существует. Однако создание такой карты необходимо. Карта явилась бы картографическим документом, который должен постепенно пересматриваться на основе знаний о свойствах ландшафтов и соотношении ландшафтостабилизирующего и ресурсного значения лесов в конкретных лесорастительных условиях.

Хозяйственные группы лесов (рекомендуемое деление). Карта строится на эколого-географическом фундаменте с учетом положительных сторон существующего деления. В I группу должны войти: леса, отнесенные к ней по существующему делению (предтундровые, водоохранные, почвозащитные и др.); заболоченные леса; каменноберезовые леса; кедровый стланик; леса, имеющие преимущественно ландшафтостабилизирующее значение (в соответствии с картой «Типы лесных ландшафтов»); леса, являющиеся условием существования обособленно проживающих групп населения.

II группу составят: леса, отнесенные к ней по существующему делению; леса, имеющие ограниченное ресурсное и повышенное ландшафтостабилизирующее значение (в соответствии с картой «Типы лесных ландшафтов); леса, образующие буферную зону между лесами I и III группами (оптимальный размер зоны следует определить).

В III группу войдут все остальные леса.

Лесоресурсный потенциал. На карте показывается потенциальная продуктивность древостоя (в бонитетах) в соответствии с принадлежностью лесов к определенным типам ландшафтов. Ресурсный потенциал древостоя целесообразно давать только для лесов II и III хозяйственных групп, чтобы выделить основную базу реализации потребности экономики России в древесном сырье. По карте «Хозяйственные группы лесов» (рекомендуемое деление) необходимо отделить леса I группы от остальных. Затем, по карте «Типы лесных ландшафтов» дифференцировать леса II и III групп по потенциальной продуктивности древостоя.

Нарушенность лесов. О нарушенности лесов можно судить по последствиям негативного воздействия на лесные экосистемы, к которым относятся: не покрытые лесом площади (вырубки, гари, редины и др.), наличие мягколиственных пород (производных) на месте хвойных и твердолиственных (коренных и условно коренных). К нарушенным лесам должны быть отнесены также лесные культуры и хвойные и твердолиственные молодняки как начальный этап «выздоровления» лесной экосистемы. Следуя изложенной автором позиции, можно констатировать, что суммарная площадь на-

[1] В Лесном кодексе, принятом в 2006 году, хозяйственное деление лесов, расположенных на землях лесного фонда, на группы заменено разделением лесов по целевому назначению на защитные леса, эксплуатационные и резервные (прим. ред.).

рушенных лесов в России составляет 41% от лесной площади (данные на 1.1.2003 г.). Карта строится на основе статистической информации по лесхозам. Показатель нарушенности лесов – доля площади нарушенных лесов от лесной площади, выраженная в процентах.

Основные направления лесохозяйственной деятельности. На карте выделяются территории однородные по основным направлениям лесохозяйственной деятельности, исходя из информации о принадлежности лесов к определенному типу ландшафта, хозяйственной группе (по существующему и рекомендуемому делению), о лесоресурсном потенциале и нарушенности лесов.

По сути, объектом лесохозяйственной деятельности является лесной ландшафт (лесная экосистема) – сложный живой организм, имеющий географические закономерности функционирования и развития. Знание этих закономерностей и учет их в практической деятельности является необходимым условием устойчивого развития лесного хозяйства России.

SERIES OF MAPS FOR MANAGEMENT OF FORESTRY OF RUSSIA

N. Kiseleva

Moscow state university, geographical faculty, Moscow

It is suggested to create the special series of maps for management of forestry of Russia on federal level: "Forests", "Types of forest landscapes", "Economic groups of forests" (existing partition), "Economic groups of forests" (recommended partition), "Effect of economic activity on forests", "Forest resource potential", "Main trends of forestry activity". Short contents of maps are given.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ДРЕВОСТОЯ ЕЛИ В БИОГЕОЦЕНОЗАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ (ЮЖНАЯ ЧАСТЬ ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ) НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ LANDSAT 7 И ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Д. Н. Козлов[1], М. Ю. Пузаченко[2], М. В. Федяева[2], Ю. Г. Пузаченко[2]

[1]Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, [2]Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

Оценка состояния экосистем на основе дистанционной информации в настоящее время может рассматриваться как приоритетное направление ее использования. Особое место дистанционная информация занимает в решение задач управления лесными ресурсами (проекты SeebTREES, Fundamentals of Remote Sensing, 2003). В настоящем сообщении демонстрируются возможности интерполяции точечных полевых измерений сумм площадей сечений ели (*Picea abies L.*) и высоты еловых насаждений для достаточно типичных условий южной тайги (южная часть Валдайской возвышенности, Центрально-Лесной заповедник, 33°в.д., 56,2°с.ш.). Основой для интерполяции являлись: многозональная съемка Landsat за пять сроков и цифровая модель рельефа, построенная по топографической карте масштаба 1:10 000. Постановка такой задачи определяется большим значением ели как лесохозяйственной породы для территории России и практической целесообразностью решения задачи на основе унифицированной и вместе с тем доступной информации.

Тестовая территория (20х20 км) представляет собой грядово-холмистую возвышенную равнину, общие особенности рельефа которой обусловлены структурами коренных отложений, моренными и в меньшей степени флювиогляциальными образованиями московского возраста. Структуры меньшего порядка сформированы в максимальную стадию валдайского оледенения и представлены сложным комплексом моренных, флювиогляциальных и озерных отложений, перекрытых чехлом покровных легких суглинков средней мощностью 60 см. Относительная однородность верхней толщи почвообразующих пород определяет ведущую роль рельефа в пространственной дифференциации свойств растительности и почв через перераспределение влаги.

Для плоских слабовогнутых водоразделов характерны заболоченные сфагновые еловые леса с редкой примесью сосны и березы на торфяно-подзолистых почвах разной степени оглеения. Дренированные части моренных гряд заняты неморально-кисличными еловыми лесами со значительной долей участия широколиственных пород на дерново-палево-подзолистых почвах. Выраженный микрорельеф перигляциальной зоны валдайского оледенения определяет высокую мозаичность растительного и почвенного покровов. Сплошные и единичные ветровалы, характерные для территории, усиливают эту мозаичность. Рубки конца 50-х годов и ветровалы обуславливают в составе лесов территории большую долю (40%) мелколиственных лесов в разной стадии восстановительной сукцессии. Зарастающие сельскохозяйственные поля и селитебные земли занимают примерно 13% площади, а верховые болота – 15%.

Полевые измерения сумм площадей сечений ели с помощью релаксометра Биттерлиха и средней высоты древостоя осуществлялись в рамках комплексных ландшафтных исследований на трансектах с регулярным шагом опробования в 20 м и для типичных и характерных фаций, выделенных предварительно на основе визуального анализа карты рельефа, лесотаксационных планов и дистанционной информации. В анализ включено 1048 точек комплексных описаний с инструментальной привязкой с помощью GPS приемника Garmin 12 XL. Погрешность определения географических координат составляла 7-20 м.

Дистанционная информация представлена одной сценой Landsat 5 (3 мая 1990 г) и четырьмя сценами Landsat 7 (22 марта 2001, 24 апреля 2000, 20 июня 2002 и 27 сентября 2000 г). Каждая сцена содержит семь спектральных каналов съемки с номинальным разрешением 28.5 и 57 м (тепловой канал). Значения тепловых каналов были приведены к величинам температур излучающей поверхности. Цифровая модель рельефа построена на основе высотных отметок топографических карт масштаба 1:10 000 с помощью кригинг-интерполяции. После радиометрической коррекции разновременные снимки, цифровая модель рельефа были совмещены в единый массив данных средствами программы ERDAS Imagine 8.4. К полученному массиву присоединены полевые измерения, образующие обучающую выборку. Средняя ошибка совмещения всех данных с учетом всех частных ошибок составляет 30 м.

Наряду с прямыми значениями спектральной яркости каналов Landsat для интерполяции точечных измерений сумм площадей сечений ели и высоты древостоя использовались разнообразные спектральные индексы, отражающие избранные свойства земной поверхности и, в первую очередь – особенности преобразования солнечной энергии ландшафтным покровом (степень неравновесности поглощения энергии в разных зонах спектра (энтропия Кульбака), эксергия, первый компонент преобразования Kauth's Tasseled Cap), биомассу и биологическую продуктивность (NDVI, TVI, RVI, gNDVI, GVI), содержание влаги в растительности (LMI, NDWI, третий компонент преобразования Kauth's Tasseled Cap). Обширный набор различных спектральных признаков отражает факт нелинейной связи спектральных каналов друг с другом и с состоянием различных свойств зондируемой поверхности.

В качестве топографических переменных, определяющих перераспределение влаги, использованы крутизна (градиент) и средняя кривизна (лапласиан) поверхности, рассчитываемые на основе ЦМР для разных иерархических уровней организации рельефа (Пузаченко, 2003). На основе двухмерного спектра Фурье (Turcote, 1999) выявлены 4 основных иерархических уровня с периодами: 100, 200, 300 и 1300 м. Остальные иерархические уровни либо слабо выражены, либо имеют размеры, выходящие за рамки масштаба исследования.

Наиболее эффективно осуществлять статистическую интерполяцию измеренных значений в пространстве большого числа внешних переменных на основе пошагового дискриминантного анализа, представленного практически во всех популярных пакетах статистического анализа данных (SPSS, Statistica). Его использование предоставляет следующую аналитическую информацию: 1) общую статистическую оценку качества дискриминантной модели, 2) число статистически значимых факторов, описывающих пространственное варьирование переменной, 3) вклад внешних переменных в описание варьирования, 4) риск и распределение ошибок для каждого распознаваемого класса. Для каждой ячейки дистанционной сканерной съемки, не обеспеченной полевым описанием, получаем: 1) прогнозируемое значение дискретного состояния переменной, 2) значения независимых виртуальных факторов, 3) вероятность отнесения соответствующей точки к каждому из состояний описываемой переменной.

Виртуальные факторы дискриминантной модели отражают физическую природу рассматриваемого явления. Для каждого фактора можно рассчитать их непараметрические коэффициенты корреляции с каждой внешней переменной, что позволит интерпретировать природу или смысл каждого фактора. С помощью факторов, полученных в дискриминантном анализе, можно построить прямую регрессионную модель зависимости от них исследуемого свойства, представленного в непрерывной численной шкале, и на этой основе улучшить детальность интерполяции.

Диапазон измеренных значений сумм площадей сечений ели был разбит на четыре категории: 1) 0-1, 2) 2-6, 3) 7-19, 4) 20-50 $м^2$/га, путем логарифмирования исходных данных с последующим округлением результатов. Общая точность распознавания этих категорий в каналах Landsat и спектральных индексах за пять сроков съемки, а также разномасштабных характеристиках рельефа составила – 54.9%. При этом наибольшую точность распознавания демонстрируют категория с максимальными запасами древесины ели (70.6%) и категория с ее полным отсутствием (72.4%). Градации со средними значениями сумм площадей сечений ели имеют минимальную точность распознавания (41-50%). Прогноз дискретных категорий сумм площадей сечений ели можно видеть на рисунке 1. Вероятность однозначной оценки лежит в пределах 0.3-1.0, с преобладанием областей с вероятностью прогноза 0.4-0.6. Область однозначно точного прогноза (>0.9) соответствует безлесным территориям (верховые болота, сельскохозяйственные земли – рис. 2).

Установлены три статистически достоверных независимых фактора, определяющих пространственное варьирование запасов древесины ели. Первый фактор (89.6% описываемого варьирования) характеризуется положительной связью сумм площадей сечений ели с эксэргией солнечной радиации в июне (интенсивность транспирация) и отрицательной с температурой мая. Этот фактор определяет возраст еловых сообществ: чем старше сообщество, тем больше энергии оно тратит на транспирацию, что в свою очередь снижает температуру излучающей поверхности, регистрируемую сенсором спутника.

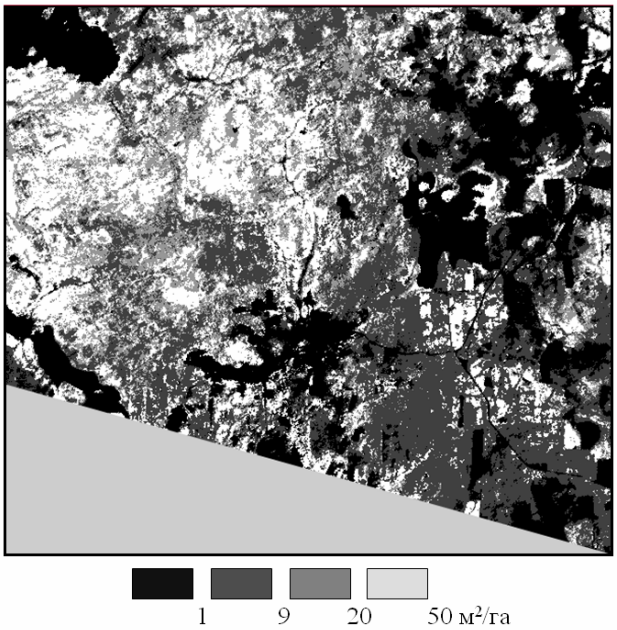

Рис. 1. Предсказанные категории сумм площадей сечений ели по дискриминантной модели. Точность 54.9%

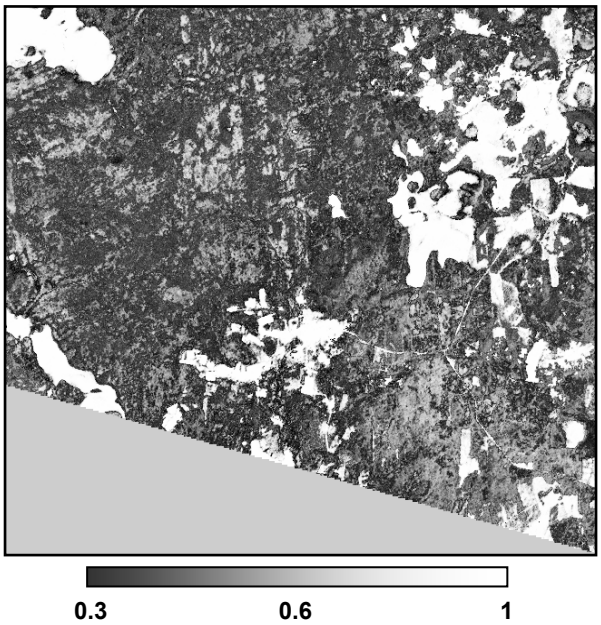

Рис. 2. Пространственное распределение ошибок дискриминантной модели сумм площадей сечений ели.

Второй фактор (9.2%) характеризуется отрицательной связью сумм площадей сечений ели с величиной биологической продуктивности (NDVI), индексом влажности (LMI) июня и уклоном макрорельефа и положительной с величиной эксергии июня. Исходя из этого, можно предположить, что второй фактор описывает влияние на сумму площадей сечений ели влажности местообитаний. В условиях тестовой территории устойчивые высокосомкнутые еловые сообщества характерны для переувлажненных местообитаний (ельники сфагново-черничные) плоских озерных равнин.

Третий фактор (1,2%) характеризует долю лиственных пород в составе древостоя. Чем выше в составе сообщества доля лиственных пород, тем выше его общая биологическая продуктивность (и в первую очередь июня). При прочих равных условиях в пределах склонов с лучшим дренажем доля лиственных пород выше – фактор положительно связан с уклоном рельефа.

Регрессионная модель измеренных значений сумм площадей сечений ели от трех виртуальных факторов дискриминантного анализа на 61% описывает общее варьирование с абсолютной ошибкой 0,72 (в логарифмической шкале) и средней относительной ошибкой 13%.

По аналогии выполнена интерполяция измерений средней высоты древостоя. Точность регрессионной модели для высоты древостоя составила $R^2 = 0,55$ при среднеквадратической ошибке 6,8 м. Результирующая оценка запасов древесины ели базируется на арифметическом произведении сумм площадей сечения ели и средней высоты древостоя с учетом сбежистости ствола ели (0.7).

Специальный анализ остатков регрессионных моделей показал, что модели в среднем занижают максимальные значения и завышают минимальные. Основными источниками ошибок являются погрешности позиционирования точек полевых описаний относительно рельефа и дистанционной съемки, а так же особенности вертикальной и горизонтальной структуры еловых лесов, определяющих несоответствие результатов наземных и дистанционных наблюдений. В целом, сумма площадей сечения ели завышается для сообществ с небольшим участием ели и присутствием ольхи серой, липы, вяза и сосны. Для сомкнутых еловых лесов с участием березы сумма площадей сечения

ели занижается. Полученные представления о природе ошибок регрессионной модели позволят улучшить ее точность добавлением в качестве зависимых переменных сумм площадей сечения других древесных пород.

Расчеты значений коэффициента детерминации и среднеквадратической ошибки регрессионных моделей при разном количестве исходных точек показал, что средние значения характеристик качества моделей при уменьшении объема выборки меняются незначительно и не образуют достоверно выраженного тренда. Однако разброс значений оценок при одном и том же числе точек увеличивается при уменьшении объема выборки, причем особенно резко это происходит при числе исходных точек менее 200. Это дает основания полагать, что для получения достоверного результата необходимо не менее 200 точек полевых описаний для территории площадью 100 км^2.

THE MAPPING OF THE SPRUCE WOOD STOCKS IN THE SOUTHERN TAIGA (VALDAI HILLS) ON THE BASIS OF DIGITAL ELEVATION MODEL AND REMOTE SENSING DATA (LANDSAT-7)

D. Kozlov[1], M. Puzachenko[2], M. Fedyaeva[2], Y. Puzachenko[2]

[1]Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty,
[2] Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract shows opportunities of the discriminant analysis for interpolation of field measurements of spruce basal area (*Picea Abies L.*) and forest height on the basis of digital elevation model (DEM) and the multispectral data of remote sensing of satellite Landsat-7. The used method allows to receive the map of spruce basal area, forest height and stocks of spruce wood, the map of residuals. Also method allows display a spatial variation of independent factors, which determine the measured values of investigate property.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕСТНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВЫСОКОГО И НИЗКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Ю. Е. Копин

ООО DATA+, г. Москва

Определение площадей лесов с помощью классификации данных дистанционного зондирования неизбежно сталкивается с проблемой точности полученных результатов. Использование снимков низкого разрешения позволяет обрабатывать большие площади с меньшими временными затратами, но точность полученных данных относительно невысока. Наиболее точные результаты можно получить с помощью классификации снимков высокого разрешения. Их использование, в свою очередь, ограниченно объемами и стоимостью данных, а также необходимостью применения специальных алгоритмов классификации.

Инструмент Frame Sampling Tool из пакета Erdas Imagine позволяет определить процентное содержание интересующего нас материала в каждом классе исходного классифицированного изображения. Процентное содержание материала определяется с помощью статистической обработки выборки из данных высокого разрешения на ту же территорию. В качестве выборки также могут использоваться карты и другие источники пространственной информации. Таким образом, возможно определение площади

интересующих нас объектов с помощью данных низкого разрешения, покрывающих всю исследуемую территорию, и, сравнительно небольшого количества данных высокого разрешения, используемых в качестве тестовой выборки. В докладе показан практический пример подсчета площади лесов с использованием данного метода.

DETERMINATION OF THE FORESTS AREAS WITH THE HELP OF THE JOINT STATISTICAL PROCESSING OF HIGH AND LOW RESOLUTION DATA

Yu. Kopin.

"DATA+", Moscow

In the report a practical example of forests area calculation with the use of this method is shown.

СТРУКТУРА РЕЛЬЕФА РУССКОЙ РАВНИНЫ КАК ЛАНДШАФТООБРАЗУЮЩЕГО ФАКТОРА

И. П. Котлов, Ю. Г. Пузаченко

Географический факультет, МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва

Организация лесного хозяйства на ландшафтно-экологической основе в настоящее время признана одним из условий устойчивого развития лесных экосистем. Ландшафт, как объективно сформировавшийся в процессе длительного развития природный комплекс, имеет свои закономерности строения и динамики. Одним из основных природных факторов, формирующих естественное разнообразие территории, является рельеф [4]. Рельеф (форма поверхности) традиционно рассматривается как один из наиболее инертных и устойчивых компонентов ландшафта, в большей или меньшей степени влияющий на другие компоненты – поверхностный и подземный сток, климат, почвенный и растительный покров. В свою очередь, рельеф является следствием действия геодинамических процессов, характеризующихся широким диапазоном масштабов в пространстве и времени. Последние исследования геодинамики в области разномасштабных разломов показали широкий спектр их потенциальной биофизической и биохимической активности, изучение которой, безусловно, дело ближайшего будущего [1]. В свете современных данных можно полагать, что геодинамическое состояние конкретной территории следует рассматривать не как константу, а как активный фактор динамики ландшафта и практически всех его компонентов. Путь к развитию этих исследований лежит через анализ структуры рельефа, отображающего все пространственно-временное разнообразие этих взаимодействий. При таком подходе рельеф трактуется как отображение динамических процессов на конкретный момент измерения. Соответственно, исследования его структуры целесообразно осуществлять физически осмысливаемыми и воспроизводимыми методами. Наиболее общий подход можно развить на основе классического метода спектрального анализа при помощи Фурье-преобразования. При таком подходе рельеф, выраженный через матрицу или регулярную сетку абсолютных высот, рассматривается как двухмерная волновая система, с колебаниями или гармониками, запечатленными на данный момент времени. Двухмерный спектр Фурье прямо связывает мощность процессов, порождающих рельеф, с пространственной частотой или линейными размерами гармоник [3].

Анализ спектра позволяет оценить фрактальную размерность (степень сложности и самоподобия) динамической системы, доказать наличие квазигармонических колебаний и определить число порождающих их факторов (параметров порядка в терминологии синергетики). Кроме того, информация, содержащаяся в двухмерной спектро-

грамме, позволяет выделить те гармоники, которые обладают большей выраженностью сравнительно с остальными и, зная их собственные частоты (линейные пространственные размеры), рассматривать каждую выделенную гармонику независимо. Взаимодействие разномасштабных факторов и соотношение линейных размеров гармоник формирует иерархическую организацию рельефа территории. Так как каждая квазигармоника порождает собственный набор форм земной поверхности с собственной энергетической мощностью (выраженной в амплитуде высот), то, оставаясь в рамках классического ландшафтоведения, можно полагать их ведущую роль в пространственной организации ландшафта. Таким образом, предлагаемый подход позволяет рассматривать рельеф как динамическое основание ландшафта и исследовать его состояния не только как функцию денудационных и аккумулятивных процессов и фактор трансформации гидротермического режима, но и как функцию собственно геодинамических процессов, действующих через варьирование геофизических переменных.

Материал и методы

Предложенный подход рассматривается на примере анализа рельефа Русской равнины. В качестве исходного материала использовалась цифровая модель рельефа (ЦМР), созданная Геологической службой США и находящаяся в свободном доступе в сети Интернет [6]. Исследуемая территория в исходных данных представлена в широтно-долготной проекции, эллипсоид WGS-84. Пространственные размеры – от 40° до 90° с.ш. и от 20° до 60° в.д. Разрешение – 30’’ на поверхности. Для изменения координатной сетки из градусной в километровую ЦМР была трансформирована в равноплощадную проекцию Альберса с центральным меридианом 40° в.д. и двумя секущими параллелями 45° и 65° с.ш. Пространственное разрешение трансформированной ЦМР – 1 км^2 на поверхности.

Спектральный анализ проводится для квадрата со стороной 2000 км, выбранного в середине изображения полным преобразованием Фурье (рис. 1а). Для анализа взяты проекции двухмерного спектра на оси X и Y (правая и левая диагонали соответственно) в соответствие с методом, предложенным Turcotte [5] (рис. 1б). Мощность спектра представлена в логарифмической шкале.

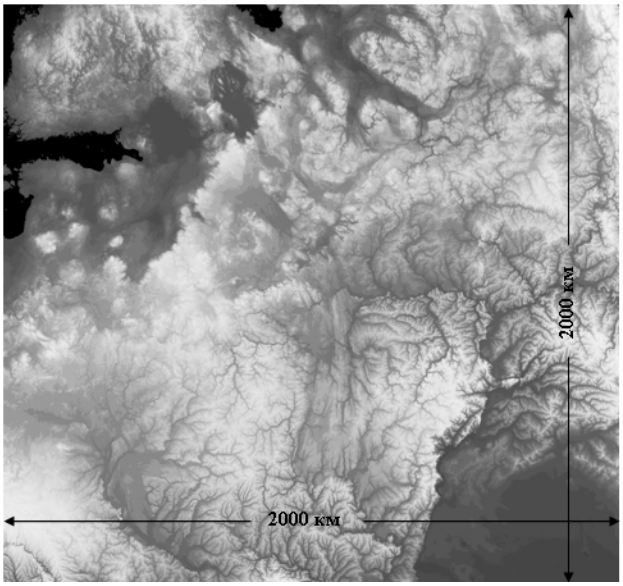

Рис. 1а. Анализируемый участок ЦМР

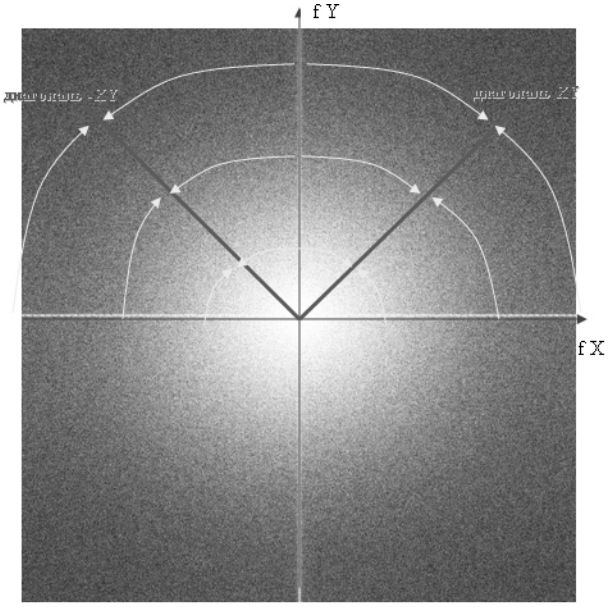

Рис. 1б. Двухмерный спектр и проецирование значений методом Turcotte

Зависимость мощности спектра от частоты (периода) оценивается линейным уравнением регрессии: **log(SP) = a + b*log(1/f)**, где SP – дисперсия значений периодограммы, f – частота. Чем меньше частота, тем больше логарифм мощности. Фракталь-

ная размерность оценивается при помощи параметра наклона линии регрессии: **Fd = (7-b)/2.** Для правой диагонали она составляет Fd=2.215, для левой Fd=2.196 – показатели невысокой степени расчлененности территории в целом [3]. Остатки от линии регрессии доказывают гипотезу существования квазигармоник. Значения автокорреляционной функции остатков, выходящие за пределы достоверного интервала, свидетельствуют о наличии квазигармонических колебаний. Анализ спектра частот квазигармоник показал, что существует не более четырех факторов, определяющих отклонение реального пространственного процесса от чисто фрактального, стохастического. Их частоты подчиняются правилу нелинейного осциллятора ($f_i=n*f_0$, где n – целое число). Статистическая устойчивость гармоник позволяет с помощью остатков от уравнения регрессии выделить иерархические уровни организации рельефа и, скорее всего, ландшафта. Максимумы значений остатков соответствуют наиболее выраженным пространственным размерам предполагаемых иерархических уровней, минимумы – границам между уровнями. Знание пространственных размеров иерархических уровней позволяет через обратное преобразование Фурье «восстановить» на всю территорию рельеф, свойственный каждому иерархическому уровню с характерными линейными размерами структур (334-2000 км, 118-334 км, 52-118 км, 33-52 км и 16-33 км). Первый иерархический уровень отражает главные структурные элементы рельефа Русской равнины. Он включает в себя окружающие горные системы – Кавказ, Карпаты, Урал и горы Кольского и Скандинавского полуостровов, а также ряд возвышенностей центра территории, водосборный бассейн Каспийского моря и ряд приморских низменностей – Черного, Каспийского, Балтийского и др.

Нижние иерархические уровни отражают соответственно более мелкие структуры. Среди них наиболее интересными являются, например, предгорные понижения Урала, Карпат и Кавказа и долины крупных рек на втором-четвертом уровнях. Нижние иерархические уровни содержат подробную информацию об эрозионной сети, степень расчлененности которой в частности отражает границы четвертичных оледенений [7].

Рельеф, интерпретированный таким образом через свою иерархическую структуру, был классифицирован методом дихотомии по метрике Евклида. Программное обеспечение – пакет Fracdim, разработанный на кафедре Физической географии и ландшафтоведения МГУ.

Результаты

Результат работы - карта районирования рельефа Русской равнины, отражающая его иерархическую и структурную сложность, которая в свою очередь является отражением работы геодинамических процессов на данный момент времени.

Классификация высоких (1й – 3й) иерархических уровней показывает возможность четкого выделения ряда крупных структурных элементов – равнинных территорий, среди которых выделяются приморские равнины, долины крупных рек, низменные, возвышенные и предгорные равнины, предгорных прогибов, низкогорий и среднегорий. Последние значительно отличаются по своим характеристикам от ранее выделенного класса гор. Каждый структурный тип охарактеризован относительными высотами иерархических уровней. Например, приморские низменности и крупные впадины характеризуются значительными понижениями 1-го уровня (334-2000 км). Предгорные прогибы, наоборот имеют низкие относительные высоты на втором и третьем иерархических уровнях (118-334 и 52-118 км соответственно). Низменные, возвышенные равнины и среднегорья значительно отличаются соотношениями относительных высот всех трех уровней.

Классификация низких уровней отражает набор более мелких структурных элементов, где наряду с низменными, средними и возвышенными равнинами выделяются речная сеть, малые и крупные котловины, предгорные прогибы и низкогорья.

Использование численных методов позволяет формализовать процесс районирования. Полученная карта представляет собой основание для дистанционного ландшафтного и последующего лесохозяйственного картографирования территории с помощью мультиспектральных космических снимков. Неизбежные ошибки и неточности подхода будут исправляться в процессе дискуссий, что позволит создать универсальную методику, обладающую важным свойством воспроизводимости.

Литература

1. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании // М.: Агенство Экономических Новостей, 1999. С. 25-27.
2. Макеев В.М. Неотектоническое районирование Восточно-Европейской и Скифской платформ. //Квартер-2005. Материалы совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 345-347.
3. Пузаченко Ю.Г., Онуфреня И., Алещенко Г.М. Иерархическая организация рельефа, 12 с.
4. Солнцев Н.А. Природный географический ландшафт и некоторые общие его закономерности. Труды II Всес. Геогр. Съезда, т.1, Географгиз, М., 1948. С. 18;
5. Turcotte D. L. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge University Press. 1997. 398 p.
6. http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/e020n90_tile.html
7. John Inge Svendsen et al. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia//Quaternary Science Reviews, 23. 2004. P.1229-1271.

STRUCTURE OF RUSSIAN PLAIN RELIEF AS A LANDSCAPE FORMING FACTOR

I. Kotlov, Y.Puzachenko

Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow

Relief spectrum analyzed through Fourier transformation. Hierarchical structure of relief assessed and qualitatively proved. Each hierarchical level determined and its average linear spatial size assessed. Using inverse Fourier transform and spectral band filtering each spatial level explored and its map designed. These levels are jointly classified to derive map of relief hierarchical structure as a basis of landscape cover.

ОТОБРАЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЛАНДШАФТНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВОЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ И ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ

А. Н. Кренке

Московский государственный Университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Одной из основных задач современного мирового сообщества является выработка и применение нового подхода к использованию ресурсов планеты и управлению этим процессом.

К этой мысли приводят не только экологические проблемы, возникающие в результате некачественного природопользования, но и нерациональное использование невосполнимых ресурсов, целый ряд социальных проблем.

Техническая слабость многих проектов, приводящая к катастрофам и долговременным негативным последствиям, некачественный менеджмент людских ресурсов, а также сомнительные программы по работе с населением приводят к растущей напря-

женности, нищете и бессмысленному расходу человеческих и природных ресурсов. Недостатки инженерной части многих проектов ведут к крупным катастрофам. Примерами служат частые разливы нефти на российских нефтепроводах на вечно-мерзлотных почвах. Зачастую низкий уровень анализа при проектировании, приводит к крупным повреждениям среды и большим затратам на ликвидацию последствий. Есть все основания полагать, что более полное использование географической информации о физическом состоянии ландшафтного покрова территории и ландшафтообразующих процессах на основе современных технологий анализа пространственно распределенных данных может способствовать повышению качества технического обоснования и проектирования инженерных сооружений, снизит риски катастроф и затраты на их ликвидацию, обеспечив при этом максимальное сохранение наиболее ценных и экологических значимых природно-территориальных комплексов.

Решение этих задач в соответствии с мировой практикой входит в сферу ответственности ландшафтного планирования как системы действий, направленных на максимизацию эффективности комплексного использования природных ресурсов и условий среды. Ландшафтное планирование тесно связано с ландшафтным управлением (landscape management) и ландшафтным покровом (landscape cover). Планирование закладывает основу для управления, как системы действий, направленных на поддержание ландшафта и его пространственной структуры в желаемом состоянии

Ландшафтный покров - понятие, подразумевающее отображение биофизических свойств земной поверхности в категориях ее состояния (леса, кустарники, болота и т.п.). Это понятие исторически во многом связано с развитием дистанционных средств мультиспектрального измерения состояния земной поверхности и, прежде всего, для решения задач, связанных с ландшафтным планированием. Применение этого понятия не требует обоснования строгих схем иерархии ландшафта и полного описания состояния всех его компонентов. Иерархический уровень отображения территории обычно определяется масштабом, отвечающим целям конкретного исследования. Использование широко доступной дистанционной информации позволяет создавать сопоставимые отображения основных свойств земной поверхности для различных территорий.

Проектно-изыскательские работы в условиях Крайнего Севера России, Центральной и Восточной Сибири, являющихся наиболее перспективными с точки зрения добычи углеводородных и лесных ресурсов регионами, сталкиваются с ограниченностью исходной научно-технической информации о состоянии ландшафтного покрова как за текущий период времени, так и по предыдущим десятилетиям. Полевые работы в этих регионах сопряжены с большими материально-техническими затратами, а исследование состояния территории в прошлом представляется весьма затруднительным. В свете этого становится особо актуально, по крайней мере, на начальных стадиях проектно-изыскательских работ максимально полно использовать общедоступные архивы дистанционной информации, получая на их основе достаточно детальное отображение текущего и прошедшего состояния важнейших свойств ландшафтного покрова.

Для достижения этой цели необходимо развитие специальных алгоритмов анализа дистанционной информации, обеспечивающих не только выделение основных типов ландшафтного покрова, но и отображение пространственного варьирования его важнейших свойств: гидротермического режима, биологической продуктивности, характера и степени естественной и антропогенной нарушенности.

В предлагаемой работе рассматривается алгоритм классификации, использующий в качестве исходных данных как собственные значения яркости спектрального каналов, так и рассчитываемые на их основе индексы, часть из которых достаточно надежно отражает определенные физические свойства земной поверхности. Яркости в

спектральных каналах для одной территории обычно коррелируют друг с другом, причем корреляция соседних каналов может быть очень высокой.

Несмотря на часто высокую линейную корреляцию, отношения между каналами существенно нелинейны, и в параметрах этой нелинейности содержится большая информация, не выявляемая собственно в каналах. Это привело к синтезу различных типов индексов, обладающих селективной чувствительностью к различным физическим свойствам отражающей солнечную энергию земной поверхности. В общем индексы сводятся к использование производных спектральной яркости между соседними каналами (разность и отношение) при различных способах нормировки. Большинство индексов строятся на основе сопоставления яркостей в двух ближайших каналах, но и некоторых вариантах используется и какой либо третий канал.

Существуют индексы, использующие информацию всех каналов с определенным весом. Такие индексы разрабатывают на основе эмпирических данных, и их конструкция позволяет выделить относительно независимые виртуальные факторы.

Устойчивость индексов в отображении свойств ландшафта, на который они ориентированны, непостоянна и зависит от сезона и региона. Наиболее селективным является нормализованный дифференциальный индекс растительности, который почти строго отражает чистую биологическую продукцию растительности и в меньшей степени ее массу. Менее устойчив индекс содержание влаги в растительности, однако чаще всего он отражает состояние индицируемого им явления. Чтобы эффективно использовать индексы для распознавания состояния элементов ландшафтного покрова, их необходимо тестировать для конкретной территории и сцены.

Используемый метод дихотомической иерархической классификации «от общего к частному» с учетом, как территориального положения выделяемых типов, так и значений индексов, позволяет последовательно определять физический смысл выделяемых классов ландшафтного покрова. Составляемая на этой основе карта содержит от 16 до 32 типов хорошо идентифицируемых состояний, соответствующих стандартам международной классификации. На основе полученной классификации и ее дискриминантного анализа по отношению к исходным переменным удается выделить ведущие ландшафтообразующие факторы и получить картографическое отображение их значений.

Используя дискриминатный анализ для выделенных классов, можно выделить виртуальные независимые факторы, описывающие каждую переменную. Дискриминатный анализ позволяет оценить вклад каждого виртуального фактора в отображение общего разнообразия ландшафтного покрова. Физический смысл виртуальных независимых факторов можно определить по коэффициентам корреляции со всем каналами и индексами. Очевидно, что физический смысл виртуального фактора, полученного в дискриминантном анализе, определяется индексами, с которыми он наиболее тесно связан. Так как физический смысл индексов установлен на предшествующем этапе, то, соответственно, можно идентифицировать и физический смысл виртуального фактора. В результате получаем непрерывное отображение независимых физически интерпретируемых факторов, описывающих свойства ландшафтного покрова, отображенные в дистанционной информации.

Количественное отображение таких ландшафтообразующих факторов создает основу для предварительной оценки возможной реакции ландшафта на различные формы хозяйственной деятельности и, напротив, оценки потенциальных затрат на сооружение объектов, определяемых свойством ландшафта и возможную устойчивость инженерно-технических сооружений.

По крайней мере, проектировщик получает достаточно надежную основу для оптимизации планирования полевых исследований, призванных получить необходимую информацию для решения задач ландшафтного планирования.

Подобная обработка позволяет определить основные классы ландшафтов и факторы их определяющие, причем данные получают без использования сколько-нибудь детализированной информации об объекте исследования из внешних источников.

Такая подготовительная работа позволит на порядок сократить временные и финансовые затраты на последующие полевые работы, так как исследователю надо будет лишь собрать данные с эталонных участков, которые можно будет интерполировать на остальную площадь, занимаемую соответствующим классом. Такие исследования не носят фундаментальный характер и не требуют затрат дополнительных ресурсов для изучения генезиса ландшафта и других важных характеристик, но те данные, которые необходимы для решения задач ландшафтного управления, могут быть получены в необходимом объеме.

DISPLAY OF MAIN FUNCTIONAL PROPERTIES OF LANDSCAPE COVER BASING ON REMOTE SENSING DATA FOR PURPOSES OF PRELIMINARY STAGE OF HYDROCARBON AND FOREST RESOURCES EXPLOITATION

A. Krenke

Lomonosov Moscow State University, Moscow

Display of the basic functional properties of a landscape cover on the basis of the remote information for maintenance of initial design stages of oil and forest harvesting For achievement of this purpose development of special algorithms of the analysis of the remote information, providing not only allocation of the basic types of a landscape cover, but display of a spatial variation of its major properties is necessary: a hydrothermal mode, biological efficiency, character and a degree natural and anthropogenous disturbance.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

И .А. Лабутина, В. А. Плотников

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Заболоченные территории, широко распространенные в европейской части России, имеют важное научное и хозяйственное значение. Актуальная в последнее время задача изучения структуры и ресурсного потенциала болотных геосистем довольно сложна по целому ряду причин: большое географическое разнообразие и изменчивость болот, неопределенность научных подходов к подобным исследованиям, наличие трудноразрешимых теоретических вопросов формирования и развития болот, а также недостаток источников информации. Задача опознавания заболоченных территорий возникает также при картографировании ландшафтов и ряда их компонентов. Труднодоступность заболоченных территорий обусловливает необходимость использовать наряду с полевыми методами исследований данные дистанционного зондирования.

Цель проведенного исследования – выявить возможности картографирования в средних масштабах заболоченных территорий на севере Европейской территории России по космическим снимкам. В качестве примера для исследований была выбрана территория Костромской области, поскольку ее природные особенности – равнинный характер рельефа, достаточное или избыточное количество осадков, неглубокое залегание грунтовых вод – определяют широкое распространение всех основных типов болот. Существенным моментом было наличие предоставленных нам картографических материалов и результатов полевых ландшафтных наблюдений, которые были получены в рамках проекта «Кострома-ЭКОНЕТ». В исследовании использовались сканерные снимки TM и ETM+ со спутников Landsat полученные в 1989 и 2001 гг. Выбор снимков определялся достаточно высоким с точки зрения решения географических задач пространственным разрешением в сочетании с большим охватом территории, а также их свободным распространением.

Для разработки методики картографирования заболоченных территорий были исследованы возможности дешифрирования их основных типов методами визуального дешифрирования и компьютерной классификации.

При визуальном дешифрировании важным признаком болот на снимках является форма их изображения: плавные границы, округлые очертания болот котловин, вытянутая форма лесных болот, заболоченных речных террас и поймы. Это позволяет легко отделить заболоченные территории от антропогенных объектов (полей, сенокосов, лесных вырубок), иногда имеющих сходные яркостные признаки. Рисунок изображения болотных массивов является отражением реально существующих ландшафтных рисунков, горизонтальной ландшафтной дифференциации. Закономерное развитие болот от низинного до верхового типов и изменение условий произрастания растительности от центра к периферии обычно читается на космических снимках. Полосчатый рисунок, обусловленный грядово-мочажинным микрорельефом, характерен для верховых болот, низинные болота имеют бесструктурное изображение, часто осложненное отдельными пятнами, соответствующими древесной растительности. Заболоченные леса отличаются монотонной мелкозернистой структурой изображения.

Основным признаком, позволяющим выделять болота и их типы на космических снимках, служит цвет изображения. Для изучения заболоченных территорий оптимально использовать вариант синтеза зональных снимков в каналах 7 (2,08-2,35 мкм), 4 (0,76-0,90) и 2 (0,52-0,60), который дает изображение, близкое к натуральному. На снимках с таким вариантом синтеза сфагновые мхи, доминирующие в нижнем ярусе большинства верховых и переходных болот, отображаются светлыми бирюзовыми оттенками, определяя цвет болот. Более насыщенный зеленый цвет имеют кустарнички и травяные растения, преобладающие соответственно на верховых болотах с лучшим минеральным питанием и на болотах переходного типа. Для низинных болот характерен темно-зеленый цвет, причем его оттенки становятся более темными и насыщенными в зависимости от преобладания пород в древесном ярусе в следующем ряду: береза и осина – ива и ольха – хвойные породы (в основном – сосна). Переходные болота, как правило, имеют на снимке светло-зеленый или буро-зеленый цвета в зависимости от залесенности; они уверенно разделяются по цвету с болотами верхового типа. Трудности вызывает дешифрирование заболоченных лесов, при котором необходимо решить две задачи: определить различия между заболоченными лесами и остальными лесными ландшафтами и отделить заболоченные леса от низинных болот со схожим составом древесного яруса.

При изучении заболоченных территорий полезно обращать внимание на рисунок гидрографической сети, индицирующий условия произрастания растительности на отдельных участках болот, особенности развития болотных массивов.

В целом при визуальном дешифрировании удается выделить типы заболоченных земель, но при картографировании значительных по площади территорий этот метод не может использоваться в качестве основного из-за высокой трудоемкости.

Компьютерную обработку предварял сопоставительный анализ кривых спектральных образов разных классов объектов, который позволил сделать выводы, важные для автоматизированного дешифрирования снимков. В ряду низинные - переходные - верховые болота наблюдается увеличение спектральных яркостей во всех зонах, что связано с уменьшением фитомассы ландшафтов. Спектральные образы верховых болот, пашни и сенокосов; низинных болот и хвойных лесов; переходных и верховых кустарничковых болот очень схожи, что неизбежно понизит достоверность классификации. Спектральные характеристики объектов на различных по времени и условиям съемки космических снимках, могут иметь существенные различия, что затрудняет классифицирование мозаики (совокупности) снимков.

Для картографирования всей территории Костромской области было испробовано несколько широко используемых способов компьютерной обработки: кластеризация, создание индексного изображения NDVI, классификация с обучающей выборкой. Лучшие результаты дает классификация снимков каналов 2, 3, 4, 5, 7 по методу максимального правдоподобия, которая, однако, позволяет определить лишь относительное распространение заболоченных участков. Для более детального изучения заболоченных территорий были выбраны участки площадью около 1000 км^2 в пределах одного снимка. В этом случае контролируемая классификация дает более достоверный, но не вполне удовлетворительный результат: недостаточно полно выделяются заболоченные леса, из-за широкого диапазона спектральных яркостей нивелируются различия типов болот, плохо различаются болота и схожие объекты и др. Существенно улучшает результаты классификации маскирование изображения. Путем визуального дешифрирования с привлечением топографических и ландшафтных карт, результатов полевых исследований создается слой-маска, который при наложении на снимок закрывает все объекты кроме заболоченных территорий.

Использование классификации с обучением на отдельных типичных участках с предварительным маскированием изображения позволяет уверенно определять типы болот (верховые, переходные и низинные), а также проводить их разделение по доминирующим древесным породам или степени залесенности. Каждый тип болот при таком подходе имеет 3-4 подтипа в зависимости от географических особенностей территории. Среди заболоченных лесов выделяются лиственные и хвойные. Итоговая легенда классификации содержала 15 типов заболоченных территорий. Выделение подтипов болот по ландшафтному принципу даже с использованием всего набора дешифровочных признаков оказывается необоснованным, так как используемые снимки практически не дают информации о таких составляющих ПТК, как рельеф, почва и климат, для этого необходимо привлечение дополнительных данных.

Результаты классификации выбранных эталонных участков служат основой для создания карт типов заболоченных земель в масштабах 1:100 000-1:200 000 для фрагментов территории области, различающихся по ландшафтным особенностям или по используемым снимкам, которые служат промежуточным звеном при создании карты всей области в масштабе 1:500 000.

Все этапы работы можно выстроить в следующую технологическую схему:

- ознакомление с географическими особенностями территории, выявление дешифровочных признаков заболоченных территорий;
- контролируемая классификация изображения (мозаики) всей исследуемой территории при оптимальном сочетании съемочных каналов;

- выбор на основе результатов классификации эталонных участков, на которых распространение заболоченных территорий отличается однообразием или является преобладающим; создание специальных маскирующих слоев на основе визуального дешифрирования и дополнительных картографических источников, контролируемая классификация;
- создание карт фрагментов территории области на основе результатов классификации и визуального дешифрирования для их уточнения, «сшивание» полученных изображений в единое изображение с общей легендой.

Таким образом, для картографирования заболоченных территорий в масштабах региона наиболее достоверные результаты удается получить при проведении исследования на двух уровнях: локальном и обзорном (в масштабах региона) и использовании сочетания методов визуального дешифрирования и компьютерной классификации.

COMPUTER INTERPRETATION OF SPACE IMAGES FOR THE KOSTROMA REGION WETLAND MAPPING

I. Labutina, V. Plotnikov

Moscow State University, Moscow

Methods of visual interpretation and computer classification of Landsat 5 and 7 data were analyzed for the wetland types recognition. Advantages and disadvantages of each method were discovered. The procedure was elaborated for vast territory mapping which is based on the visual and computer methods combination and stage-by-stage compilation.

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ СОЗДАНИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ГИС ЛЕСНИЧЕСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ

Г. Н. Огуреева, М. В. Зимин, С. В. Чистов

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва

За последние 10-15 лет в различных отраслях знаний и практической деятельности накоплен большой опыт создания и использования ГИС-технологий. Наибольшего развития они получили в органах управления различного уровня соответствующих отраслей хозяйства и структур управления. Предпосылками создания и ведения ГИС на этапах их становления выступали не только финансовые возможности организаций, но и подготовленность их сотрудников, наличие пространственно привязанной информации, концептуальная разработанность идей использования ГИС в конкретной деятельности и ряд других обстоятельств. В последние годы наметилась тенденция постепенного внедрения ГИС-технологий в низовые структуры; в лесном хозяйстве в качестве таковых выступают лесхозы и лесничества.

Реализация принципа устойчивого развития лесного хозяйства, предполагающего повышение ресурсного и экологического потенциала лесов при сохранении их биоразнообразия, диктует совершенствование ведения лесохозяйственной деятельности на уровне лесхозов и лесничеств. Этой цели способствуют ГИС-технологии, используемые для организации лесного хозяйства, учета и мониторинга лесов. Многообразие, с одной стороны, видов конкретно-практической деятельности в лесничествах, а с другой - потребностей в реализации комплекса природоохранных мероприятий для поддержа-

ния различных экологических функций леса, создает настоятельную необходимость использования в современных условиях ГИС-технологий. На уровне лесничеств это будет способствовать совершенствованию локального мониторинга лесов, достижению информационного взаимодействия с вышестоящими организационными структурами, как по оперативным вопросам лесохозяйственной деятельности, так и по ежегодной отчетности.

Разработанные в лесоведении научные принципы ведения лесного хозяйства с учетом природной структуры территории на практике порой остаются не реализованными в силу малой доступности конкретной эколого-географической информации. В связи с этим при разработке ГИС лесничества можно предусмотреть введение в ее состав блока пространственной информации о ландшафтной структуре территории, позволяющей согласовать природную, социально-экологическую, экономическую и природоохранную деятельность на территории лесничества и выбрать соответствующие приоритеты лесохозяйственной деятельности и его дальнейшего развития.

С учетом этих позиций авторы разработали концептуальную основу ГИС лесничества, реализованную на примерах Наро-Фоминского и Верейского леспромхозов и Дороховского лесничества Московской области. Общая упрощенная схема создания подобной ГИС представлена на рисунке, где в качестве составных частей присутствуют блоки тематических карт и результатов полевых обследований лесной территории, материалов лесной таксации и данных дистанционного зондирования. Каждый блок несет взаимоувязанную пространственную информацию о лесах и выполняет определенные функции.

Рисунок. Схема создания ГИС лесничества

Первый блок включает научно-базовые тематические карты по разделам, определяющим главные, существенные природные особенности территории лесничества (данные о рельефе, почвенном, растительном покровах, ландшафтной структуре территории). Ландшафтно-экологический анализ базовых карт и данные обследования лесов позволяют выявить региональные связи типов леса и устанавливать некие фоновые характеристики отдельных участков территории.

Материалом для изучения пространственной структуры лесного покрова служат характеристики закономерно повторяющихся хорологических сочетаний типологических единиц. Для их выделения возможно использовать сведения о рельефе и других факторах, обусловливающих мозаику лесов, их связи и динамику (Комплексные исследования, 1982). Базовыми единицами таких хорологических подразделений локального уровня могут быть ландшафты. Ландшафтные комплексы лесов представляют пространственную совокупность лесных насаждений, характерную для определенного вида ландшафта, местностей или других его морфологических подразделений в зависимости от сложности ландшафтной структуры территории (Огуреева, Булдакова, 2006). Каждый ландшафт отличается набором коренных типов леса, приуроченных к определенным экотопам, их количественным соотношением и размещением относительно друг друга, приуроченностью к морфологическим элементам ландшафта. Для каждого ландшафта получены данные о лесистости, степени сохранности и нарушенности лесов, наличии лесных культур, их роли и места в лесовосстановительной динамике лесов.

Анализ полученных материалов по типологическому разнообразию лесов с использованием крупномасштабных лесотаксационных карт (1:25 000), позволяет провести оценку возрастного состава и современного состояния лесов на локальном уровне наиболее полно и качественно.

Блок таксационных материалов разработан и внедряется в лесном хозяйстве на базе универсальной геоинформационной системы ГИС "TopoL" и программы "ЛесИС" (Лесная информационная система), которая обеспечивает весь комплекс работ с атрибутивными данными по всему множеству параметров учета лесного фонда (Интернет-ресурсы: http://www.lesis.ru).

Блок информации о данных дистанционного зондирования включает оперативные сведения о современном экологическом состоянии лесов. Внедрение в среду ГИС результатов дешифрирования космических снимков позволило выявить степень их нарушенности, происшедшие изменения лесного фонда за последние годы (пожары, вырубки, усыхающие лесные массивы в результате поражения насекомыми), определить мероприятия, необходимые для ведения лесного мониторинга. В процессе работы определены возможности использования космических снимков различного вида для получения информации о современном состоянии отдельных участков лесных насаждений. Снимки дают возможность оценить состояние лесных культур и проследить ход лесовосстановления. Помимо отмеченных параметров-характеристик лесов, по космическим снимкам получены спектральные образы для условно-коренных и производных сообществ различных типов леса с целью проведения процедур контролируемой классификации, определения экологического состояния различных участков леса на момент съемки.

Апробированная в Московской области ГИС лесничества позволила получить информацию и провести оценку современного состояния лесов. Растительность Наро-Фоминского района, на территории которого находится Верейский леспромхоз и Дороховское лесничество, отличается значительным типологическим разнообразием лесов, что обусловлено его положением у южной границы широколиственно-хвойных лесов и многообразием местообитаний. Условно-коренные и короткопроизводные леса занимают порядка 16 % площади. Они содержат богатый генофонд таежных и дубравных

видов растений, весь набор коренных лесообразующих пород, которые обеспечивают восстановительные сукцессии на лесных площадях.

Пространственная согласованность всех картографических материалов сделала возможным проведение анализа эколого-географических закономерностей распределения лесных выделов на территории лесничества. В результате определены критерии оценки современного состояния лесной растительности, среди которых наиболее существенное значение имеют лесистость территории в природных границах ландшафтных выделов; типологическое разнообразие сообществ, согласованное с ландшафтной структурой территории; качественный состав лесов по соотношению площадей коренных и производных насаждений; возрастной состав лесов; наличие вырубок, гарей, лесных культур и др. Такого рода сведения служат дополнительным источником информации, которая может быть использована для принятия решений по конкретным лесохозяйственным мероприятиям для отдельных участков лесных массивов с учетом их природных особенностей и экологических функций. Если учесть технические возможности увязывания ГИС лесничеств с существующими ГИС на более высоких уровнях организации лесного хозяйства, то становится очевидным актуальность и значимость совершенствования их структуры и информационной емкости.

ECO-GEOGRAPHICAL APPROACH BY CREATION OF SPECIAL FORESTRY GIS FOR ESTIMATION OF CONDITION AND MONITORING OF FORESTS

G. Ogureeva, M. Zimin, S. Chistov

Moscow State University, Geographical department

The authors suggest to introduce eco-geographical block into forestry GIS in order to combine natural variety of forests with peculiarities of the area. It is aimed at creation of model of ecologically balanced way of forestry running. Conceptual basis of GIS is carried out on the example of one of the forestry's of the Moscow region. GIS includes blocks of thematically maps, materials of forestry arrangement, remote sensing and results of field work.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ МОНИТОРИНГУ ЛЕСОВ ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

О. Л. Орлова[1], С. В. Князева [2], И. А. Вуколова [3], О. В. Рыльков [4]

[1]ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкино, Московская обл.;
[2]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва;
[3]Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства, г. Пушкино, Московская обл.;
[4]НП «Куршская коса», Калининградская обл.

Формирование методики ведения экологического мониторинга лесов национального парка (НП) на основе аэрокосмических методов и ГИС-технологий является экспериментальным направлением. Важность этой разработки для национальных парков возрастает с увеличением потока туристов и повышением экологического риска, своевременное обнаружение очагов которого – одна из основных задач мониторинга.

Национальный парк «Куршская коса» находится в Калининградской области и является самым малым среди национальных парков России – общая площадь парка составляет 7,9 тыс. га (Нац. Парки, 1996). Он образован в конце 1987 г. с целью сохранения и поддержания уникальных природных комплексов Куршской косы, представляющей собой песчаный полуостров в виде узкой дуги в юго-восточной части побережья Балтийского моря. Национальный парк занимает 50 км полуострова, северная часть которого принадлежит Литве. Основными элементами рельефа косы являются песчаные дюны и местами заболоченная плоская равнина, почти вся покрытая лесом. Лесообразующие породы представлены сосной, елью, березой и ольхой черной. Природные комплексы полуострова испытывают существенное природное и антропогенное воздействие, значительны нарушения не только отдельных компонентов, но и ландшафтов в целом. Уникальность природных комплексов Куршской косы, их высокая динамичность и уязвимость требуют пристального внимания, особенно в связи со стихийными бедствиями, которые произошли на территории парка в конце прошлого века и привели к серьезным изменениям в структуре лесных насаждений, что определяет целесообразность разработки системы организационных и хозяйственных мероприятий по повышению устойчивости лесных экосистем.

Экспериментальные работы по экологическому мониторингу лесов территории НП «Куршская коса» с использованием аэрокосмической информации и ГИС-технологий проводятся с 1998 года. Мониторинг, основанный на материалах аэрокосмических съемок, занимает одно из центральных мест в системе общего мониторинга национального парка "Куршская коса", т. к. для наблюдений за состоянием растительности полуострова необходима оперативность получаемых данных. Экологический мониторинг организован на территории парка в трехступенчатом виде: *первая ступень* - космическая многозональная съемка среднего и высокого пространственного разрешения; *вторая ступень* – аэрофотосъемка и/или аэровидеоосъемка (среднемасштабная обзорного уровня и крупномасштабная детального уровня); *третья ступень* - наземные наблюдения.

Для мониторинга территории парка в целом нами предложен набор относительных площадных показателей, включающий лесистость, долю участия насаждений хвойных пород, долю песков, закрепленных растительностью, долю развеваемых песков, долю защитного дюнного вала, определяемых в границах лесохозяйственного квартала. В процессе исследований проведено определение предложенных показателей состояния лесных экосистем Куршской косы по результатам автоматизированного дешифрирования космических многозональных снимков HRVIR/SPOT 1996 года и LISS-3/IRS-1C 2002 года. На основе полученных количественных характеристик в среде ГИС составлены серии электронных разновременных карт показателей экологического мониторинга на 1996 и 2002 гг. и карты динамики показателей за 6-ти летний период). В результате анализа созданных карт выявлена динамика происходящих изменений лесных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов.

В системе экологического мониторинга лесов аэросъемка занимает среднюю ступень между космической информацией и наземными наблюдениями. Определение места аэроинформации в значительной степени диктуется площадью территории, на которой организуют систематические наблюдения. Среди самолетных видов съемок в настоящее время особое значение приобретают цифровые съемки, выполняемые с помощью видео и фотокамер и обладающие рядом несомненных достоинств, среди которых возможность получать изображения с хорошим разрешением и готовые для компьютерной обработки.

Для целей ведения экологического мониторинга лесов национальных парков аэросъемку целесообразно применять, по крайней мере, в трех направлениях:

- для совмещения с планово-картографическими материалами или другими аэрокосмическими изображениями с целью их совместного анализа;

- для накопления информации во времени для последующих сравнений и определения динамики характеристик объектов лесного мониторинга;

- для получения экологических показателей, характеризующих объекты лесного мониторинга.

Блок наземных наблюдений представлен следующими направлениями:

- ✓ наземные постоянные пробные площади, на которых с периодичностью, определенной направлениями мониторинга, проводится перечет;
- ✓ транссекты, на которых проводится анализ древесной и кустарниковой растительности и фотофиксация на узловых точках;
- ✓ рекогносцировочные обследования по маршрутам.

Обработка космической и аэроинформации проводится в среде географических информационных систем. В качестве программного обеспечения для информационного сопровождения работ по экологическому мониторингу лесов территории национального парка «Куршская коса» используются программы *MAPINFO, TOPOL, ARCVIEW, IDRISI, ACCESS*, при формировании внешних баз данных – программы *MICROSOFT OFFICE*.

Особенности природных комплексов обусловливают выделение отдельных видов экологического мониторинга, требующих более детального обследования: лесопатологический (в течение многих лет проводится специалистами ВНИИЛМ), лесохозяйственный, рекреационный, мониторинг растительности защитного дюнного вала, мониторинг растительности подвижных дюн, мониторинг прибрежной растительности акватории Куршского залива. Для мониторинга отдельных частей территории НП используют материалы аэросъемок обзорного или детального уровней. Показателями для этих видов мониторинга, получаемыми в результате дешифрирования данных дистанционного зондирования, служат рассчитанные в границах выбранных территориальных единиц наблюдения площадные показатели разных категорий санитарного состояния насаждений, классов повреждения насаждений вследствие ветровалов, классов экологического состояния защитного вала, участков подвижных дюн на разной стадии стабилизации песков и др. (Вуколова, Орлова, Рыльков, 2003). В качестве примера картографического сопровождения мониторинга составлены карта повреждения насаждений после ветровала и карта экологического состояния дюнного вала Куршской косы.

Центральное место в системе картографического обеспечения мониторинга занимает *базовая карта экосистем* Куршской косы масштаба 1:25000, создаваемая по результатам дешифрирования растительного покрова на спектрозональных среднемасштабных аэроснимках и использования ландшафтных картографических материалов. Характеристика экосистем в легенде карты разделена на две части: детальную характеристику растительности (фитоценозов), как наиболее динамичного, разнообразного компонента экосистемы, являющегося основным объектом наблюдений, и обобщенную характеристику местообитаний (экотопов). В отдельную категорию легенды вынесены природные и антропогенные факторы, негативно воздействующие на экосистемы (Князева, 2005). Базовая карта служит точкой отсчета для наблюдений за пространственной динамикой экосистем на территории НП, выполняет функции географической привязки для других картографических материалов и является основой для создания различных карт (динамики экосистем, оценки устойчивости природных комплексов и др.).

Литература

1. Вуколова И. А., Орлова О. Л., Рыльков О. В. Экологический мониторинг лесов национального парка «Куршская коса» на основе аэрокосмических методов и ГИС-технологий // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия. М.: НИА-Природа, 2003, с. 54-68

2. Князева С. В. Базовая карта для аэрокосмического мониторинга лесов национальных парков (на примере НП «Куршская коса») // Вестник Моск. Ун-та, сер. География, 2005, №3, с. 36 – 46;
3. Национальные парки России. Справочник. Под ред. Чебаковой И.В. М.: Изд-во ЦОДП, 1996, 198 с.

THE EXPERIMENTS BY ECOLOGICAL FOREST MONITORING FOR KURSHSKAYA KOSA NATIONAL PARK BASED ON REMOTE SENSING AND GIS APPLICATION

O. Orlova [1], S. Knjazeva [2], I. Vukolova [3], O. Rylkov [4]

[1]All-Russian Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization, Pushkino, Moscow region;
[2] Centre of forest ecology and productivity problems RAS, Moscow;
[3] All-Russian Institute of Contiued Education of Forestry, Pushkino, Moscow region;
[4]Kurshskaya Kosa National Park, Kaliningrad region

The basic methods of ecological monitoring for the National Park's forests are presented. The three level monitoring is proposed: the first level is the space survey, the second one – airplane survey, and the third one – field survey. Some integral ecological indices received on classification of space images are proposed. Several dynamic maps based on ecological indices are composed. A map of ecosystems is the basic one for aerospace monitoring of the forests in Kurshskaya Kosa National Park. It represents the spatial structure of ecosystems within the Park's territory, their areas and factors of adverse impact on the ecosystems.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА АЭРОСНИМКАХ

В. А. Пикатов, М. Н. Неруш

Брянская государственная инженерно-технологической академия, г. Брянск

Для устойчивого управления лесами в настоящее время разрабатываются и широко внедряются в лесном хозяйстве географические информационные системы (ГИС) и соответствующие им технологии. Возросшие требования к достоверности картографической информации о лесном фонде обусловили при ее создании необходимость перехода на современные технологии цифровой фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, в которых все процессы, связанные с составлением планово-картографических материалов и последующим вычислением площади выделов, максимально автоматизированы.

Предлагаемая технология базируется на предварительном построении фотограмметрической сети и включает следующие основные этапы:
- измерение на стереокомпораторе или с помощью ЭВМ координат координатных меток аэрофотоснимка, координат точек, выбранных для построения сети (связующих и опорных точек);
- аналитическое построение свободных моделей по стереопарам включенным в фотограмметрическую сеть;
- аналитическое объединение свободных моделей в общую фотограмметрическую сеть;
- внешнее ориентирование фотограмметрической сети по опорным точкам;
- вычисление площадей.

Для предварительного построения сети минимальными исходными данными являются:

x, y – измеренные координаты координатных меток, опорных связующих и определяемых точек;

α, ω, φ - угловые элементы внешнего ориентирования, зафиксированные в момент фотографирования или определенные по опорным точкам;

B – измеренная длина базиса фотографирования;

x_0, z_0 – координаты главной точки снимка.

Одиночные модели образуются как совокупность точек, координаты которых определяются по координатам изображений соответственных точек стереопар снимков, полученных с базиса фотографирования. Координаты точек одиночной модели вычислим по формулам, выражающим зависимость между координатами соответственных точек пары снимков и пространственными координатами точек модели:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mathrm{N} \begin{pmatrix} X_1' \\ Y_1' \\ Z_1' \end{pmatrix}, \qquad (1)$$

где: X,Y,Z – координаты точки местности в системе координат с началом в центре фотографирования левого снимка - ОлX Y Z;

X'_1, Y'_1, Z'_1 – пространственные фотограмметрические координаты точек левого снимка в этой же системе координат.

Множитель N зависит от пространственных координат точки левого снимка (в системе координат ОлXYZ) и соответствующей точки правого снимка в системе координат ОпXYZ, параллельной ОлXYZ, которые составляют базис фотографирования (B).

$$\mathrm{N} = \frac{B_x Y_2' + B_y X_2'}{X_1' X_2' - Y_1' X_2'}, \qquad (2)$$

где: X'_2, Y'_2 - пространственные фотограмметрические координаты точек правого снимка в этой же системе координат.

Составляем матрицы направляющих косинусов углов.

$$\begin{pmatrix} X_1' \\ Y_1' \\ Z_1' \end{pmatrix} = Ал \begin{pmatrix} x_л \\ f \\ y_л \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

$$\begin{pmatrix} X_2' \\ Y_2' \\ Z_2' \end{pmatrix} = An \begin{pmatrix} x_п \\ f \\ y_п \end{pmatrix} \qquad (4)$$

В формулах (3, 4) А-матрица направляющих косинусов углов, образованных координатными осями x,y с осями X,Y,Z и зависящих от угловых элементов внешнего ориентирования α,ω,φ. При построении одиночной модели по фотоснимкам плановой съемки $\alpha_л = \alpha_п$, а также учитывая, что углы ω, φ равны 0, предварительно можно принять ω = φ. Тогда можем считать:

$$A_л = A_п = \begin{vmatrix} -\sin\alpha & 0 & \cos\alpha \\ \cos\alpha & 0 & \sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}, \qquad (5)$$

где α- угол между осью $Y_ф$ и направлением оптической оси аэрофотоаппарата.

Следующий этап предварительного построения сети включает соединение отдельных моделей в общую модель и заключается в преобразовании прямоугольных ко-

ординат точек одиночных моделей в общую для всех моделей систему координат. Преобразование координат выполним по формулам:

$$\begin{pmatrix} X_{iф.с} \\ Y_{iф.с} \\ Z_{iф.с} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{ф.м} \\ Y_{ф.м} \\ Z_{ф.м} \end{pmatrix} + A_м \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} \cdot t, \quad (6)$$

где $X_{iф.с.}$, $Y_{iф.с.}$, $Z_{iф.с.}$- координаты точек сети фототриангуляции в общей для всех моделей системе координат $X_{ф.с.}$, $Y_{ф.с.}$, $Z_{ф.с.}$;

$X_{ф.м.}$, $Y_{ф.м.}$, $Z_{ф.м.}$-координаты начала системы координат X, Y, Z отдельной модели в системе $X_{ф.с.}$, $Y_{ф.с.}$, $Z_{ф.с.}$;

X_i, Y_i, Z_i – координаты точки одиночной модели в системе координат X, Y, Z отдельной модели;

t – масштабный коэффициент.

$$A_м = \begin{vmatrix} -\sin\alpha_м & 0 & \cos\alpha_м \\ \cos\alpha_м & 0 & \sin\alpha_м \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (7)$$

В формуле (7) $\alpha_м$ – угол в плоскости X,Y, на который надо повернуть присоединяемую модель, чтобы ее координатные оси стали параллельны системе координат фотограмметрической сети. Матрица $A_м$ зависит от одного этого угла, так как два других угла ω, φ, как было условлено выше, при предварительном построении сети принимаются одинаковыми для всех моделей.

Из формул (6) и (7) следует, что для объединения моделей в общую сеть необходимо для каждой модели определить: угол поворота модели $\alpha_м$; координаты $X_{ом}$, $Y_{ом}$, $Z_{ом}$; начало системы координат модели в системе $X_{ф.с.}$, $Y_{ф.с.}$, $Z_{ф.с.}$ координат сети и масштабный коэффициент t.

Объединение моделей выполним по связующим точкам, последовательным соединениям моделей. Примем систему O_i, X_i,Y_i, Z_i координат i –ой модели в качестве исходной для всей фотограмметрической сети и преобразуем все отдельные модели в эту систему координат.

Пусть имеются три точки A, B, C, пространственные координаты которых получены в i –ой и (i + I) –ой моделях. Обозначим вычисленные координаты точек в i –ой модели: для точки A через X_{Ai}, Y_{Ai}, Z_{Ai}; для B- X_{Bi}, Y_{Bi}, Z_{Bi}: для C – X_{Ci}, Y_{Ci}, Z_{Ci} и в (i+I) – ой модели: для точки A – $X_{A(i+1)}$, $Y_{A(i+1)}$, $Z_{A(i+1)}$; для B- $X_{B(i+1)}$, $Y_{B(i+1)}$, $Z_{B(i+1)}$; для C- $X_{C(i+1)}$, $Y_{C(i+1)}$, $Z_{C(i+1)}$. Координаты этих точек , вычисленные в i-ой модели и в (i+I) –ой не совпадают вследствие различия в масштабах моделей и разворота. Считая координаты точек, полученные в i-ой модели за исходные, определим элементы преобразований (i+1) –ой модели.

Масштабный коэффициент t определим по формуле:

$$t = \frac{Di}{D_{(i+1)}}, \quad (8)$$

где D_i – расстояние между точками, вычисленное по координатам i-ой модели;

$D_{(i+1)}$ – это же расстояние, вычисленное по координатам (i+I)-ой модели.

Расстояние D вычислим по формуле:

$$D = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2} \quad (9)$$

Значения угла $\alpha_м$ поворота (i+I)-ой модели относительно i-ой модели определим как разность дирекционных углов линий i-ой и (i+1)-ой модели.

$$\alpha_м = \alpha_i - \alpha_{(i+1)}, \quad (10)$$

где α_i- дирекционный угол линии между точками (i)-ой модели;

$\alpha_{(i+1)}$ – дирекционный угол линии между этими же точками (i+1) – ой модели.

Углы α_I и $\alpha_{(i+1)}$ вычислим по формулам:

$$\alpha_I = \text{arctg}\ \frac{Y_{Ai} - Y_{Bi}}{X_{Ai} - X_{Bi}}\ , \qquad (11)$$

$$\alpha_{(i+1)} = \text{arctg}\ \frac{Y_{A(i+1)} - Y_{B(i+1)}}{X_{A(i+1)} - X_{B(i+1)}}\ , \qquad (12)$$

Координаты начала системы координат (i+I)-ой модели в системе координат i-ой модели вычислим по формуле:

$$\begin{pmatrix} X_{o(i+1)} \\ Y_{o(i+1)} \\ Z_{o(i+1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_{(i+1)} \\ Y_{(i+1)} \\ Z_{(i+1)} \end{pmatrix}, \qquad (13)$$

где X_i ,Y_i ,Z_i – координаты точки в i-ой модели;

$X_{(i+1)}$, $Y_{(i+1)}$, $Z_{(i+1)}$ – координаты этой же точки в (i+I)-ой модели

Далее, используя полученные значения $\alpha_м, t$ и $X_{0(i+1)}$, $Y_{0(i+1)}$, $Z_{0(i+1)}$ по формуле (6) преобразуем координаты точек (i+I)-ой модели в систему координат i – ой модели. Преобразование координат последующих моделей осуществляем аналогично, путем последовательного присоединения очередной модели, считая координаты связующих точек, полученные в предыдущей модели за исходные.

При построении фотограмметрической сети бывает, что геодезические координаты некоторых центров фотографирования определены геодезическими методами. В этом случае, приняв фотограмметрическую модель, построенную по снимкам, с известными геодезическими координатами за исходную и выполнив последовательное преобразование координат точек остальных моделей, получим внешнее ориентированную сеть в геодезической системе координат.

Определив координаты точек по контуру выдела, вычисляем аналитически площадь выдела по одной из следующих формул:

$$P = \frac{1}{2}\sum X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1})\,; \qquad P = \frac{1}{2}\sum Y_i (X_{i-1} - X_{i+1})\,.$$

По результатам исследований установлено, что средняя квадратическая ошибка определения площади выдела не превышает 4%. Это удовлетворяет требования «Инструкции о порядке создания и размножения лесных карт».

DETERMINING AREAS BY ANALYTICAL METHODS DUE TO PHOTOGRAM METRICAL MEASUREMENTS RESULTS AT THE AIROPHOTOES

V. Pikatov, M. Nerush

Bryansk State Academy of Engineering anl Technology, Bryansk

Technology based on analytical method of free models development according to stereo pairs of airophofoes wilt phofogrammetric measurement data is offered for creating the cartography information of forest fund and defining areas. Due to the research results the mean quadratic mistake of area defining is not more than 4%.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОЧАГОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ВЫСОКОЭЛЛИПТИЧЕСКИХ И ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В. В. Платонов, И. А.Зубков, Ю. А. Полушковский, В. О. Скрипачев, А. В. Тертышников

НТЦ КМЗ ФГУП «РНИИ КП», г. Москва

Важнейшим показателем возможности применения космических аппаратов (КА) с высокой эллиптической орбитой для обнаружения лесных пожаров является точность координатной привязки снимка. При дальностях от КА до источника пожара порядка 40 000 км, характерных для высокоэллиптических и геостационарных КА, ошибка в построении приборной системы координат в одну угловую минуту приводит к ошибкам определения координат лесного пожара до 12 км.

Для уточнения координат обнаруженных очагов возгораний необходим набор реперных пожароподобных отметок. В качестве реперов можно использовать засветки от горящих факелов районов нефтедобычи, координаты которых известны.

При отсутствии статистических данных оценку возможностей космической системы наблюдений (КСН) по обнаружению природных пожаров можно провести с помощью имитационной модели, основанной на внедрении в реальный информационный кадр, поступающий с бортовой аппаратуры обнаружения космических аппаратов (БАО КА), а также с помощью сигналов от реперов с заданными расчетными характеристиками.

Проведённые эксперименты с координатной привязкой выявленных координат лесных пожаров (ЛП) показали удовлетворительное соответствие с данными, имеющимися в ФГУП «Авиалесохрана».

INCREASE OF ACCURACY COORDINATES THE FOREST FIRES GIVEN BY HIGH ELLIPTIC AND GEOSTATIONARY SPACECRAFTS

V. Platonov, I. Zubkov, Yu. Polushkovsky, V. Skripachev, A. Tertyshnikov

Research Technological Center for Space Monitoring of Earth

FSUE «RISDE», Moscow

The necessary for precision definition coordinates of nature fires found set of ground control points. As ground control points it is possible to use flares from gas torches of areas of oil extracting which coordinates are known.

The experiments with a coordinate binding of the revealed coordinates of forest fires have shown satisfactory conformity with the data who are available in FGUP "AVIALESOHRANA".

ТЕХНОЛОГИЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ГРАНИЦ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА В ГИС МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

А.С. Подольская, Д. В.Ершов

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Под границами территориального деления авторы понимают границы лесхозов, авиаподразделений ФГУ «Авиалесоохрана» и зон мониторинга территории лесного

фонда России. Границы территориального деления претерпевают изменения, обусловленные следующими причинами: укрупнение/разделение лесхоза, перевод части территории в другую зону мониторинга, ликвидация авиаподразделения, создание нового лесхоза/авиаподразделения и т.д.

В информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ Рослесхоз) для пространственной идентификации обнаруженных по спутниковым данным очагов пожаров необходимы границы, отражающие современное состояние территориального деления лесного фонда. Таким образом, ежегодно возникает необходимость в актуализации границ по состоянию на текущий пожароопасный сезон. Для осуществления сбора информации об изменениях границ и их внесения разрабатывается специальная геоинформационная технология, реализация которой проводится в ГИС мониторинга лесных пожаров.

В докладе рассматривается технология актуализации границ территориального деления лесного фонда в интересах ИСДМ Рослесхоз, в составе пяти базовых функциональных блоков: сбор и предварительная обработка информации об изменениях, внесение текущих изменений, контроль данных, формирование производных цифровых покрытий и автоматизированное формирование цифровых карт границ территориального деления по субъектам Российской Федерации.

TECHNOLOGY OF ACTUALIZATION OF THE TERRITORIAL DIVISIONS OF FOREST FUND BORDERS IN GIS FOREST FIRES MONITORING

A. Podolskaya, D. Yershov

Center of forest ecology and productivity problems, Moscow

The territorial divisions of forest fund borders (forest enterprises, air divisions and monitoring zones) undergo the changes caused by the following reasons: union/separation of forest enterprise, conversion of a part of forest fund land in other monitoring zone, liquidation of air division, etc. In Remote Fire Monitoring Information System (ISRM Rosleskhoz) for the correct spatial identification of the active fires detected by satellite data the updated borders of territorial division are necessary. The technique of forest fund border updating of ISRM Rosleskhoz in the report is presented.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ФГУП «ЦЕНТРЛЕСПРОЕКТ» ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА ОРГАНИЗАЦИИ И СОСТОЯНИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЯДЕ СУБЪЕКТОВ РФ В 2005-2006 Г.Г.

А. А.Соболев, Е. В. Бахтинова

ФГУП «Центрлеспроект», Московская обл., г. Ивантеевка, Московская обл.

В системе Рослесхоза в рамках мероприятий, направленных на обеспечение охраны лесов и повышение эффективности борьбы с незаконной заготовкой и оборотом древесины, проводятся работы по развитию системы дистанционного мониторинга лесопользования. В качестве исполнителя в этих работах принимает участие ФГУП «Центрлеспроект». Основа мониторинга – космические сканерные снимки (КС), материалы крупномасштабной аэрофотосъемки, а также лесобилеты, абрисы, технологические карты и планы рубок, собранные лесхозами. Обработка информации осуществля-

ется с применением геоинформационной системы (ГИС) TopoL, разработанной специально для лесной отрасли чешской фирмой TopoL Software, s.r.o. В среде ГИС, используя возможность одновременной работы с многослойными, как растровыми, так и векторными слоями, производится дешифрирование и оцифровка мест рубок, в том числе и незаконных. При этом фиксируются отклонения от нормативных положений правил лесопользования. Для достоверного выявления мест рубок применяются различные приемы в зависимости от наличия информации на ту или иную территорию (использование разновременных и синтезированных КС, лесотаксационных данных и т.д.). В ходе мониторинга происходит накопление картографических и атрибутивных данных. Совмещение этих баз данных позволяет получать различные выборки по выявленным нарушениям и показывать их пространственное размещение.

THE EXPERIENCE OF APPLICATION GIS-TECHNOLOGIES BY FGUP "CENTRLESPROJECT" TO FOREST USE ORGANIZATION AND STATE MONITORING IN SOME CONSTITUENTS OF THE RUSSIAN FEDERATION DURING 2005-2006 YRS

A. Sobolev, E. Bakhtinova

FGUP "Centrlesproject", Moscow region

The 2-years experience of forest use organization and state monitoring in Russian forests by means of geographic information system with use of aerospace data, forest inventory materials and forestry enterprise information are presented.

МОНИТОРИНГ СЕВЕРО-ТАЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДДЗ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Т. В. Черненькова, И. П. Котлов, Е. В. Мавленкова

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Наблюдения за состоянием лесных экосистем проводились в окрестностях Мончегорского металлургического комбината (Мурманская обл.). Специфика территории состоит в высокой динамичности преобразования растительного покрова. Продолжительное действие металлургического производства вызвало глубокие негативные последствия на обширных территориях, хорошо диагностируемые как наземными, так и дистанционными методами по отражательным спектральным свойствам поверхности. С 90-х годов XX века в силу сокращения производства, а также совершенствования технологий и изменения качества руд, используемых на металлургическом предприятии «Североникель», наблюдалось последовательное снижение объемов выбросов двуокиси серы с 232 до 45 и твердых частиц с 15,8 до 5,4 тыс. т. Следствием этого явилась активизация восстановительных процессов в окрестностях комбината.

Целью исследования являлось установление интенсивности восстановительной динамики лесных экосистем в зависимости от удаления от источника загрязнения с учетом естественной пространственной неоднородности территории, главным образом – особенностей рельефа.

При мониторинге состояния лесов основными источниками информации являлись данные дистанционного зондирования (ДДЗ), материалы лесотаксационных работ

и полевых исследований, а также базовые картографические материалы. Оценка природных объектов с использованием методов дистанционного зондирования состояла из следующих этапов: предварительная обработка изображения, комплекс полевых работ, тематическое дешифрирование с обработкой и анализом данных.

Оценка состояния растительного покрова на ландшафтном уровне проводилась на основе космических снимков среднего разрешения Landsat за 4 срока – 1978, 1992, 2000 и 2002 гг. Топографические материалы в виде существующих и обновленных карт, преобразованные в векторные картографические слои разного масштаба, дополнили пространственную базу данных.

При генерализации параметров состояния был использован метод интерполяции точечных значений характеристик растительности на основе количественного анализа ДДЗ и цифровой модели рельефа (ЦМР) территории.

При постановке полевых работ был реализован градиентный подход с оценкой состояния лесных экосистем на ландшафтных профилях вдоль общего градиента загрязнения. Существенным являлось сопоставление данных по результатам исследований разных периодов (1980-е годы прошлого столетия и современные данные), полученных на одних и тех же площадках в соответствии с проведенным ранее зонированием территории (Черненькова, 1988; 2002).

На площадках размером 20×20 и 25х25 м, расположенных на трансектах разного направления, были выполнены геоботанические описания растительности. Состояние древесного яруса определялось по среднему баллу жизненного состояния деревьев верхнего яруса преобладающей породы. С помощью древесного бура оценивался возраст всех деревьев диаметром более 10 см. Для каждого вида травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов фиксировалось проективное покрытие в баллах по шкале Браун-Бланке.

В зоне сильного загрязнения (особенно в непосредственной близости от комбината) взрослых живых деревьев практически не наблюдалось, в зоне среднего загрязнения жизненное состояние оценивалось 3-3,5 баллами, на контроле эта величина была равна в среднем 2 балла. За 25-летний период явных изменений в состоянии взрослых деревьев не было отмечено. Вместе с тем обилие лиственных пород и особенно порослевой березы увеличилось в последние годы в 2-3 раза по сравнению с 80-ми годами на всем протяжении трансекты.

При сравнении современных данных по состоянию наземных ярусов растительности с полученными ранее в 1980-х гг. отмечена также общая тенденция восстановления наземного растительного покрова. Было зафиксировано увеличение на 30% общего видового богатства растений в зоне максимального и среднего загрязнения. При этом важной чертой восстановительной динамики биотопов этой территории является появление и усиление участия в составе напочвенного яруса мохообразных и лишайников (главным образом за счет пионерных видов, - *Barbilophozia lycopodioides, Pohlia nutans, Stereocaulon condensatum*). Характерна смена видового состава среди кустистых форм лишайникового покрова.

Использование ГИС технологий позволило осуществить интеграцию и совместный анализ имеющихся данных различного формата и масштаба, характеризующих растительный покров, что является необходимым условием для ведения мониторинга лесов. На основе разрабатываемых количественных методов с использованием ДДЗ и ЦМР дана оценка типологического и ландшафтного разнообразия модельной территории, отражающая современное состояние растительного покрова на региональном уровне, а крупномасштабные точечные геоботанические описания дополнили информацией об эколого-ценотическом разнообразии лесных сообществ.

Для изучаемой территории был подсчитан ряд индексов, позволяющих визуализировать состояние отдельных параметров биоразнообразия (лесистость, фрагментарность, доля вторичных лесов, жизненное состояние древостоя и др.) и их пространственное распределение в зависимости от природно-антропогенных факторов среды.

Выявление специфической реакции лесной растительности на аэротехногенное загрязнение позволяет оценить эффект химического воздействия, отделив его от других видов антропогенного влияния (пожары, рубки, рекреация). Это характеризует состояние и динамику растительных систем в ответ на общую позитивную тенденцию сокращения объема промышленных выбросов в северо-западной части России.

Литература

1. Черненькова Т.В. Деградация северо-таежных фитоценозов в зоне влияния металлургического комбината // Экотоксикология и охрана природы. М.: Наука. 1988. С.158-166.
2. Черненькова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука. 2002. 191 с.
3. Avery T.E., Berlin G.L. Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation, 5th Ed., 1992, MacMillan Publ. Co.

MONITORING OF NORTH TAIGA ECOSYSTEMS USING REMOTE SENSING DATA AND GIS TECHNOLOGY

T. Chernenkova, I. Kotlov, E. Mavlenkova

Center of forest ecology and productivity problems, Moscow

Changes in the community structure of boreal forests surround a large metallurgical center on the Kola Peninsula have been investigated. Our examination of northern taiga spruce forests state confirmed a close relationship between ecological parameters and pollution level. In spite of the reduction of the pollution level (more then 5 times during last 10 years) all measured biodiversity parameters were affected by pollution. However, positive regenerative dynamics of forest biodiversity has been also registered. Use of remote sensing data, DEM and local field sample plots descriptions enables to reveal zones of risk and to develop optimum model of management of damaged territory.