

УДК 004.93"1

DOI: 10.15393/j2.art.2015.2862

Статья

Мониторинг и прогнозирование состояния леса с использованием цепи Маркова

Виктор Н. Васильев, Олег. Б. Марков*, Людмила В. Щеголева, Роман В. Воронов и Илья В. Тесля

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33;

E-Mails: prezident@psu.karelia.ru; markovob@yandex.ru; schegoleva@psu.karelia.ru; rvoronov@karelia.ru, teslya_ilp@mail.ru

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: markovob@yandex.ru;
Tel.: +7(8142)711094; Fax: +7(8142)711079.

Получена: 10 Ноября 2014 / Принята: 18 Января 2015 / Опубликовано: 25 Апреля 2015

Аннотация: В статье описан подход к решению задач мониторинга и прогнозирования состояния леса на основе космических снимков и геоинформационных систем (ГИС) региона, содержащей электронные карты лесного фонда и других географических и технических объектов региона. Предлагается методика получения исходных данных, необходимых для решения задачи прогнозирования. Она включает в себя ряд этапов, ключевой из которых – выполнение операций над слоями ГИС, содержащими информацию о состоянии леса в некоторые моменты времени. Для решения задачи прогнозирования состояния леса строится цепь Маркова. Приводится численный пример применения описанной методики.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, незаконные рубки леса, распознавание образов.

Article

DOI: 10.15393/j2.art.2015. 2862

Monitoring and forecasting of forest with the use of remote sensing areas

Viktor Vasil'ev*, Oleg Markov*, Ludmila Schegoleva, Roman Voronov and Ilia Teslia

Petrozavodsk State University, Lenin st., 33, Petrozavodsk, Russia;

E-Mails: prezident@psu.karelia.ru; markovob@yandex.ru; schegoleva@psu.karelia.ru;
rvoronov@karelia.ru, teslya_ilp@mail.ru

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: markovob@yandex.ru;
Tel.: +7(8142)711094; Fax: +7(8142) 711079.

Received: 10 November 2015 / Accepted: 18 January 2015 / Published: 25 April 2015

Abstract: This paper describes the problem of definition of illegal felling using satellite images and regional GIS containing electronic maps of the forest fund, other geographical and technical facilities. A method of obtaining the basic data needed to solve the problem of forecasting. It includes a number of stages, the key of which - performing operations on the GIS layers, containing information about the state of the forest at certain times. To solve the problem of forecasting the state of the forest is constructed Markov chain. A numerical example is the use of the described technique.

Keywords: GIS technology, illegal logging, pattern recognition

1. Введение

Экспорт леса является важной статьей дохода Республики Карелия. При этом продается древесина, заготовленная как легальным, так и нелегальным, с нарушением лесного законодательства, способом. Заготовка леса является прибыльным делом, это и стимулирует новые рубки леса, включая нелегальные.

Незаконные рубки леса причиняют большой ущерб экономике Республики Карелия. Так в 2011 году в Республике Карелия, после проведения операции «Лес», в ходе которой проводились рейды по патрулированию лесных массивов и проверялись организации, работающие в лесной отрасли, было выявлено более ста административных нарушений. Большая часть этих нарушений связана с незаконными рубками леса и нелегальным захватом земель лесного фонда. Общий ущерб от незаконных рубок леса исчисляется миллионами рублей.

Вместе с тем, выявление незаконных рубок леса и определение ущерба от них традиционными методами наземного обследования является сложной и трудоемкой задачей. Применение самолетов и вертолетов слишком дорого и не позволяет с достаточной степенью достоверности выявлять незаконные рубки. Одним из подходов к решению задачи является использование космических данных дистанционного зондирования земли, проводимого через заданные интервалы времени с последующей автоматической обработкой полученных снимков. В силу территориального рассредоточения и географической привязки объектов лесного комплекса автоматическая обработка должна производиться с использованием геоинформационных технологий [3, 8]. Такой подход позволит решать задачи оперативного автоматизированного выявления незаконных рубок, оценки наносимого ими ущерба, а также отслеживать в динамике процессы лесовосстановления и прогнозировать состояние леса на ближайшие 10 и более лет. Для описания процессов изменения состояния леса предлагается использовать модели на основе цепей Маркова.

2. Технология отслеживания состояния леса

В первую очередь решение задачи мониторинга и прогнозирования состояния леса опирается на лесоустроительную информацию, которая должна быть представлена в виде электронных карт в геоинформационной системе. Электронные карты представляют собой набор слоев однотипных объектов. Для решения задачи электронная карта должна содержать следующие слои: границы административных объектов, границы гидрографических объектов, границы дорог, линии электропередач, границы охраняемых территорий (зоны, где запрещена вырубка, например, заповедники или территория вдоль водоемов), границы лесничеств, квартальную сеть, границы выделов, границы арендованных лесных участков, границы планируемых арендаторами рубок с указанием временного интервала рубок, согласно заявленным декларациям.

Эта информация, зафиксированная на конкретный момент времени, будет определять текущее состояние лесного фонда.

Для выявления незаконных рубок леса необходимо соотносить данные, полученные с помощью космических снимков, и текущее состояние лесного фонда, представленное картографической информацией, а при изменении состояния, выявленного на основе снимков, вносить соответствующие изменения в картографическую информацию электронных карт геоинформационной системы. Один из подходов к интерпретированию данных аэро- и космических методов исследования земель лесного фонда для последующего их тематического картографирования рассмотрен в [4].

Так как космические снимки и электронные карты имеют разную структуру представления данных, то для их сопоставления необходимо проводить обработку космических снимков. Первый этап обработки заключается в выделении на снимке границ однородных площадей и определении их характера, т. е. распознавания типа объекта: озеро, лесной массив, вырубленная площадь, дорога, линия электропередач, посадки и т. п.

Второй этап обработки снимков включает привязку снимка к электронной карте, при этом могут потребоваться масштабирование, поворот снимка, выделение опорных точек привязки. Второй этап также включает создание новых слоев электронной карты, где каждый слой соответствует одному типу выявленных на снимке объектов.

На третьем этапе происходит сравнение слоев, отражающих теперь уже «старое» текущее состояние лесного фонда, и полученных новых слоев. В результате сравнения будут получены границы вырубок, произведенных в период после последнего обновления электронной карты. Если границы вырубок не соответствуют границам планируемых вырубок, следовательно, это незаконные вырубки, тогда геоинформационная система должна сигнализировать о появлении таких объектов, а также рассчитывать и предоставлять предварительную информацию об объеме нанесенного ущерба. После сопоставления информация с новых слоев должна быть перенесена в слои, отражающие текущее состояние лесного фонда с соответствующими временными метками ее изменения.

Таким образом, за один цикл съемки и обработки космических снимков будут выявлены и занесены на электронные карты все изменения в состоянии лесного фонда, как вырубки, так и посадки, а также выявлены незаконные рубки леса. Повторение этих действий с заданной периодичностью позволит иметь актуальную картографическую информацию и оперативно принимать решения при управлении лесным комплексом, в том числе решать задачи прогнозирования его состояния, пресечения и возможной профилактики нарушений его использования.

Предлагаемая технология включает ряд математических задач. Первая математическая задача заключается в распознавании однородных объектов, определении их границ и типизации. Для распознавания могут быть использованы методы автоматического распознавания образов, что в дальнейшем будет исследовано. Определение границ площадей включает выявление угловых точек, которые будут соединены отрезками, ограничивающими

площадной объект. Количество угловых точек имеет важное значение. Во-первых, на третьем этапе обработки снимков эти угловые точки должны быть сопоставлены с угловыми точками площадных объектов слоев электронной карты, отражающих «старое» состояние лесного фонда, и если не произошло изменений состояния лесного фонда, то «старые» и «новые» точки должны совпасть с некоторой точностью, точечное или интервальное определение которой также является отдельной задачей. Во-вторых, если изменения лесного фонда произошли, то точки не совпадут, а от точности их выделения зависят границы «новых» участков, которые должны быть занесены на электронную карту, а также рассчитываемые объемы ущерба.

Актуальным является более полная автоматизация описанного процесса, дающая большую точность и сокращение трудозатрат [9].

Типизация объектов должна проводиться на основе ранее сформированных образцов. Поэтому на предварительном этапе должна быть составлена база данных образцов изображений картографических объектов, которые могут быть представлены на космическом снимке.

Вторая математическая задача заключается в привязке полученных после обработки космического снимка границ однотипных объектов к уже имеющимся на электронной карте объектам. Это можно сделать, например, по таким объектам, как дороги, озера, реки, линии электропередач. Если последующие снимки будут производиться с той же позиции, что и первые, эту задачу потребуется решить только один раз, затем, можно будет привязывать новые снимки к ранее выполненным снимкам и переносить информацию согласно выполненной для самого первого снимка привязке. Если же каждый новый снимок будет производиться в новой позиции и в другом масштабе, то задачу привязки придется решать каждый раз заново.

Привязка объектов, как уже упоминалось ранее, будет происходить с определенной точностью. Точность привязки необходимо будет определить эмпирическим путем в процессе обучения системы на основе тестовых снимков.

Третья математическая задача заключается в сравнении границ объектов «старой» карты с границами объектов «новой» карты. Эта задача также требует задания точности сопоставления. Так как могут не совпадать количество угловых точек площадного объекта, координаты угловых точек. Все несовпадения, выходящие за рамки точности, будут считаться изменениями в текущем состоянии лесного фонда. Несовпадения будут заключаться в изменении типа всей площади выдела (Рис. 1(а)) или появлении секущей границы выдела с изменением типа части площади выдела (Рис. 1(б)), или появлении «новых» границ выдела внутри «старого» выдела с другим типом (Рис. 1(в)). Если новые границы и тип выдела не соответствуют плану освоения этого лесного участка, информация о котором представлена в геоинформационной системе, то такой участок будет считаться освоенным с нарушением, один из вариантов которого – незаконная рубка леса.

В результате внесения изменений в картографическую информацию «старые» выделы могут быть разделены на несколько подвыделов, а также их части или выделы целиком объединены в новые выделы, имеющие один тип.

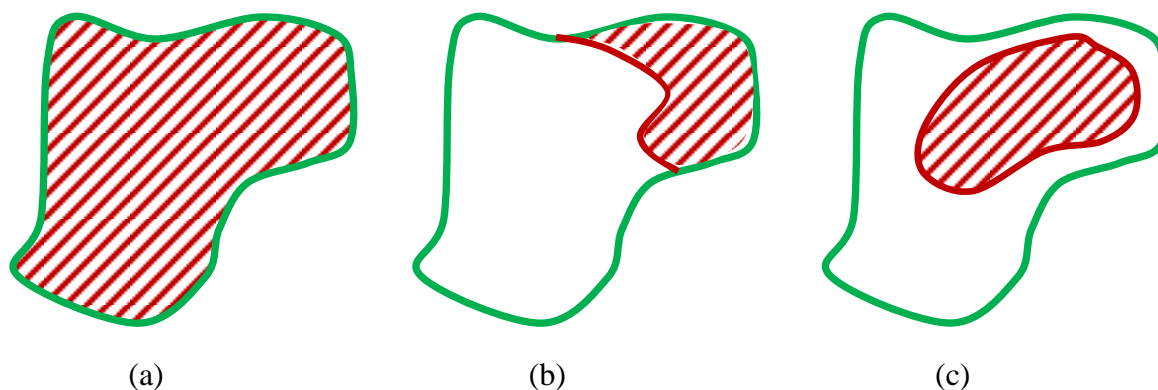


Рисунок 1. (а) Изменение типа всей площади выдела. (б) Появление секущей границы выдела с изменением типа части площади выдела. (с) Появление «новых» границ выдела внутри «старого» выдела с другим типом (зеленым обозначены «старые» границы, красным – «новые», штриховка – изменение типа выдела).

Факты незаконных рубок леса будут выявлены в случае изменения типа выдела. Здесь важно изменение типа выдела на «вырубленный лес», так проведение лесопосадочных работ тоже приведет к изменению типа, но новый тип будет отличаться от типа, соответствующего вырубке. При этом также необходимо учитывать, что выдел может измениться и в случае законных рубок. Для отсева таких выделов необходима информация о планах рубок, включающая перечень выделов и время проведения рубок.

Представленная выше технология была апробирована для выявления изменений, произошедших на территории лесного фонда, на основе использования данных дистанционного зондирования земли за 2011-2013 г.г. Причем, часть данных со спутников QuickBird и WorldView высокого разрешения были в панхроматическом режиме, а со спутника RapidEye в мультиспектральном. Изменения оценивались на основе мультивременных композитов. Съемка RapidEye была целевая. Выбор был обусловлен стоимостью данных и наличием у спутника 5-ти съемочных каналов. Уникальным для спутников высокого разрешения является канал red-edge (крайний красный), который оптимально подходит для наблюдения и измерения изменений состояния растительного покрова. Пространственное разрешение после обработки составляет 5 метров на пиксель, что удовлетворяет поставленным задачам по распознаванию образов.

3. Модель изменения состояния леса

Для прогнозирования состояния леса, в том числе определения «тревожных» потенциальных мест незаконных рубок, была разработана математическая модель, описывающая изменения лесного фонда. В основе математической модели изменения состояния леса лежит теория цепей Маркова, подробно описанная в [5].

Дадим ряд формальных определений. Пусть $S = \{s_1, \dots, s_N\}$ – конечное множество состояний дискретной однородной цепи Маркова. Вероятность перехода из состояния s_i в состояние s_j не зависит от того, из какого состояния система перешла в состояние s_i . Обозначим p_{ij} – вероятность перехода системы из состояния s_i в состояние s_j . Очевидно, что

$$\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1. \quad (1)$$

Пусть $q_1(t), \dots, q_N(t)$ – вероятности состояний s_1, \dots, s_N системы в момент времени t , для них выполняется условие:

$$\sum_{j=1}^N q_j(t) = 1. \quad (2)$$

Тогда вероятность системы оказаться в состоянии s_j в момент времени $(t+1)$ равна:

$$q_j(t+1) = \sum_{i=1}^N q_i(t) p_{ij}. \quad (3)$$

Для математической модели состояние выдела описывается набором атрибутов, содержащих как общую информацию, например, целевое назначение леса, в который входит выдел, его собственник и арендатор, так и специальную информацию, такую как плотность лесных насаждений, порода, возраст и т.д. Так же атрибуты могут хранить усредненные характеристики лесных насаждений, такие как средний диаметр ствола дерева, средняя высота дерева и средний диаметр крон выдела.

Картографическая информация представляется тремя типами геометрических примитивов:

- 1) Точечный (точка) – используется для обозначения объектов, размер которых достаточно маленький или не имеет значения.
- 2) Линейный (линия) – используется для обозначения рек, ручьев, дорог и других объектов, не имеющих объема.
- 3) Площадной (полигон).

Для представления выделов используются полигоны. После обработки космических снимков полигон может изменить свое геометрическое представление: два полигона могут быть объединены в один полигон или один полигон может быть разделен на два и более

полигонов. В этом случае изменению должна быть подвергнута и атрибутивная информация, соответствующая полигону. Предлагаются следующие подходы к формированию атрибутивной информации новых полигонов.

1. При объединении полигонов одного слоя предлагается:
 - a. Выбрать значения атрибутов одного из полигонов для формирования значений атрибутов нового полигона.
 - b. Рассчитать значения атрибутов нового полигона по предложенным формулам (Взвешенное среднее значение).
2. При разделении полигонов предлагается:
 - a. Дублировать значения атрибутов для новых полигонов.
 - b. Распределять значения атрибутов в соответствии с геометрической пропорции новых полигонов.
3. Операция вычитания позволяет корректно создавать общую границу между двумя пересекающимися полигонами или выделять простые полигоны в составе составного полигона. В данном случае предлагается:
 - a. Дублировать значения атрибутов для новых полигонов.
 - b. Выполнять доленое распределение значений атрибутов в соответствии с геометрическими пропорциями (площадью) новых полигонов.

При выполнении операций с полигонами вычисление значений атрибутов должно происходить индивидуально для каждого атрибута учитывая его особенности, единицы измерения и операцию, производимую над полигоном. Таким образом, для атрибутов, хранящих информацию о собственнике, арендаторе и целевом назначении леса, нужно будет использовать уже внесенную информацию или внести новую информацию. Для атрибутов хранящих усредненную информацию, такую как плотность насаждений, высота деревьев, объем ствола и диаметр кроны, нужно будет вносить новые данные измерений, потому что при изменении площади полигона или его географических координат точность текущих данных будет потеряна.

Построим множество состояний леса (выдела). Пусть M – количество различных атрибутов выдела. Для каждого атрибута k определим множество его значений Ω_k . Элементами множества могут быть либо единичные значения атрибута, либо диапазоны значений атрибута. Все построенные таким образом элементы каждого множества перенумеруем от 1 до N_k , где N_k – будет мощностью множества Ω_k ($|\Omega_k| = N_k$). Выделение элементов каждого множества должно быть выполнено экспертами.

Тогда состояние леса определим как прямое произведение элементов множеств атрибутов:

$$S = \Theta_1 \times \Theta_2 \times \dots \times \Theta_M. \quad (4)$$

Далее необходимо построить матрицу переходных вероятностей, состоящую из вероятностей перехода леса из состояния i в состояние $j - p_{ij}$. Построение такой матрицы выполняется на основе ретроспективных данных за несколько лет для одних и тех же участков леса. Количество лет должно быть достаточным, чтобы участки леса успели изменить значения своих атрибутов.

Для прогнозирования состояния леса необходимо определить вероятности состояний в начальный момент времени и по формуле (3) вычислить вероятности состояний на заданный промежуток времени вперед.

Таким образом, методика прогнозирования с помощью цепи Маркова включает следующие шаги:

1. Построение множества состояний лесных участков на основе значений атрибутивной информации.
2. Оценивание вероятностей переходов между состояниями.
3. Определение начального состояния лесного участка.
4. Построение оценок вероятностей перехода лесного участка в каждое состояние через T моментов времени после начального.

Представленная методика была апробирована на реальных данных, предоставленных Министерством природных ресурсов, по одному из лесничеств Прионежского района Республики Карелия.

4. Моделирование состояния леса

Для 15 выделов, расположенных на территории Республики Карелия, были собраны данные о возрасте деревьев, их средней длине, средней высоте и классе бонитета за 1971 и 1990 годы (табл. 1-2).

Таблица 1. Данные по выделам за 1971 год

Выдел №	Возраст, лет	Ср.высота, м	Ср.диам, см	Бонитет
2	150	22	26	4
3	110	19	20	4
4	130	22	18	3
5	70	11	12	5
6	70	19	16	3
7	150	14	16	5
8	130	21	24	4
9	120	20	20	4
10	65	15	16	4
11	90	22	18	3

12	130	22	22	3
13	130	21	24	4
14	110	21	24	3
15	60	12	16	3
16	40	6	6	5

Таблица 2. Данные по выделам за 1990 год

Выдел №	Возраст, лет	Ср.высота, м	Ср.диам, см	Бонитет
2	150	22	28	4
3	75	22	24	2
4	55	7	8	5
5	65	19	18	2
6	90	14	16	5
7	150	22	28	4
8	130	21	28	4
9	130	21	28	4
10	130	20	26	4
11	50	18	16	2
12	75	17	16	3
13	55	18	16	2
14	170	14	28	5
15	130	21	28	4
16	85	20	22	3

Для каждого из четырех атрибутов (возраст, средняя высота, средний диаметр и бонитет) были построены множества из трех элементов со значениями «низкий», «средний», «высокий» уровень. Диапазоны значений для отнесения значения каждого атрибута к соответствующему уровню (элементу) множества представлены в табл. 3

Таблица 3. Соответствие значений атрибутов уровням (элементам) множеств атрибутов

Уровень	Возраст, лет	Ср.высота, м	Ср.диам, см	Бонитет
низкий	30-60	1-15	1-15	5
средний	61-119	16-20	16-20	4
высокий	120-170	21-22	21-30	2-3

На основе построенных выделенных уровней для каждого атрибута определим состояния выделов (табл. 3). Каждую уникальную комбинацию значений уровней обозначим латинской буквой. В результате было выделено 17 различных состояний (табл. 5). Всего возможных состояний, которые могли бы быть получены без учета их физической составляющей, 81. Однако с учетом физических зависимостей значений атрибутов различных состояний будет меньше, а для рассматриваемых выделов их получилось гораздо меньше.

Таблица 4. Комбинации уровней атрибутов

Выдел №	Состояние	Уровень			
		Возраст, лет	Ср.высота, м	Ср.диам, см	Бонитет
2	A	высокий	высокий	высокий	средний
2	A	высокий	высокий	высокий	средний
3	B	средний	средний	средний	средний
3	C	средний	высокий	высокий	высокий
4	D	высокий	высокий	средний	высокий
4	E	низкий	низкий	низкий	низкий
5	F	средний	низкий	низкий	низкий
5	G	средний	средний	средний	высокий
6	G	средний	средний	средний	высокий
6	L	средний	низкий	средний	низкий
7	K	высокий	низкий	средний	низкий
7	A	высокий	высокий	высокий	средний
8	A	высокий	высокий	высокий	средний
8	A	высокий	высокий	высокий	средний
9	O	высокий	средний	средний	средний
9	A	высокий	высокий	высокий	средний
10	H	средний	низкий	средний	средний
10	S	высокий	средний	высокий	средний
11	X	средний	высокий	средний	высокий
11	X	низкий	средний	средний	высокий
12	Y	высокий	высокий	высокий	высокий
12	G	средний	средний	средний	высокий
13	A	высокий	высокий	высокий	средний
13	X	низкий	средний	средний	высокий
14	C	средний	высокий	высокий	высокий
14	M	высокий	низкий	высокий	низкий
15	V	низкий	низкий	средний	высокий

15	A	высокий	высокий	высокий	средний
16	E	низкий	низкий	низкий	низкий
16	R	средний	высокий	средний	средний

Таблица 5. Состояния

Состояние	Уровень			
	Возраст, лет	Ср.высота, м	Ср.диам, см	Бонитет
A	высокий	высокий	высокий	средний
B	средний	средний	средний	средний
C	средний	высокий	высокий	высокий
D	высокий	высокий	средний	высокий
E	низкий	низкий	низкий	низкий
F	средний	низкий	низкий	низкий
G	средний	средний	средний	высокий
L	средний	низкий	средний	низкий
K	высокий	низкий	средний	низкий
O	высокий	средний	средний	средний
H	средний	низкий	средний	средний
S	высокий	средний	высокий	средний
X	средний	высокий	средний	высокий
Y	высокий	высокий	высокий	высокий
M	высокий	низкий	высокий	низкий
V	низкий	низкий	средний	высокий
R	средний	высокий	средний	средний

На основе данных за два года, разница между которыми составляет почти 20 лет, что является значительным периодом для изменения характеристик леса, были построены вероятности перехода из каждого выделенного состояния (17 состояний) в каждое выделенное состояние (табл. 6).

Таблица 6. Оценки вероятностей переходов между состояниями

	A	B	C	D	E	F	G	L	K	O	H	S	X	Y	M	V	R
A	0,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0	0	0
B	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Y	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
V	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Из состояний L, S, M, R не было получено ни одного перехода в другие состояния. Причиной этого является недостаточный объем исходных данных. Здесь следует напомнить, что из 81 возможного состояния исходные данные включали всего 17 состояний. Для каждого из состояний L, S, M, R определим переходы в то же самое состояние, т.е. замыкаем эти состояния сами на себя.

Начальные вероятности состояний оценим как отношение числа выделов с данным состоянием в 1970 году к общему числу выделов. Умножив на общее число выделов получаемые по формуле (3) оценки вероятностей, получаем оценки числа выделов с различным состоянием.

Таблица 7. Число выделов для каждого состояния

Состояние	Год				
	1970	1990	2010	2030	2050
A	3	5	3	2	1
B	1	0	0	0	0
C	1	1	0	0	0
D	1	0	0	0	0
E	1	1	0	0	0
F	1	0	0	0	0
G	1	2	0	0	0
L	0	1	3	3	3
K	1	0	0	0	0
O	1	0	0	0	0

H	1	0	0	0	0
S	0	1	1	1	1
X	1	2	4	5	6
Y	1	0	0	0	0
M	0	1	2	2	2
V	1	0	0	0	0
R	0	1	2	2	2

На основе начального состояния леса (числа выделов с каждым состоянием) в 1970 году и матрицы переходов (табл. 6) было спрогнозировано количество выделов с различными значениями показателей (табл. 8).

Таблица 8. Прогноз количества выделов с различными значениями показателей

Год	Возраст, лет			Ср.высота, м			Ср.диаметр, см			Бонитет		
	30-60	61-119	120-170	1-15	16-20	21-25	1-15	16-20	21-30	5	4	2-3
1970	2	6	7	5	3	7	2	8	5	3	6	6
2050	0	11	4	5	1	9	0	11	4	5	4	6

Можно увидеть, что для 15 выделов прогнозируется увеличение среднего возраста и высоты деревьев, увеличение среднего диаметра и некоторое ухудшение бонитета.

Если какие-то состояния пометить, как потенциально тревожные с точки зрения незаконных вырубок, то можно планировать мероприятия по защите таких участков леса, которые к заданному временному периоду достигнут помеченных состояний.

Предложенный метод позволяет оценивать запасы леса на перспективу, что может быть использовано при решении задач оперативного планирования лесопользования. Например, в задачах оптимального размещения волоков на лесосеке [1, 2, 7] и лесопосадок [6] важным фактором является не только актуальная информация о текущем состоянии выделов, но и перспективное освоение соседних участков лесного фонда.

5. Обсуждение и заключение

Современный подход к управлению лесным фондом включает использование геоинформационных технологий для представления картографической и атрибутивной информации о лесном фонде, дистанционного зондирования Земли для оперативного отслеживания состояния лесного фонда, математических методов для обработки космических снимков и прогнозирования изменений лесного фонда. Предложенный метод,

основанный на теории цепей Маркова, позволяет прогнозировать изменение показателей состояния лесного фонда при наличии небольшого объема исходной информации. Исходная информация должна включать, по крайней мере, данные о нескольких участках, различающихся по всем отобранным атрибутам (характеристикам выдела) и охватывать, как минимум два временных интервала, промежуток времени между которыми, должен быть достаточным, чтобы большая часть отобранных атрибутов изменила свои значения. При увеличении числа выделов и числа лет, за которые известны значения прогнозируемых показателей, будет улучшаться качество оценок вероятностей переходов между различными состояниями системы, а, следовательно, и точность прогноза.

Результаты оценки и сравнения текущего состояния лесных участков с предшествующим их состоянием, а также результаты прогнозирования будут востребованы как для выявления незаконных рубок, так и для решения задач управления лесами, лесопользования и лесовосстановления.

Исследования, описанные в статье, проводились в рамках Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета на 2012–2016 гг.

Литература

1. Воронов Р.В., Воронова А.М., Пискунов М.А. Задача покрытия гиперсети взвешенным корневым деревом и ее приложение для оптимального проектирования схем волоков на лесосеках // Информатика и системы управления. 2012. № 1. С. 56-64.
2. Воронова А.М., Воронов Р.В., Пискунов М.А., Щеголева Л.В. Алгоритм оптимального размещения волоков из условия минимизации повреждения грунта // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 9. С. 33-35.
3. Герасимов Ю. Ю. Геоинформационные системы: Теория и применение в лесном комплексе / Ю. Ю. Герасимов, С. А. Кильпеляйнен, Г. А. Давыдков. – Йоенсуу: Университет Йоенсуу, 2000. – 201 с.
4. Жердев В.Н. Количественный подход при картографировании лесов на основе данных зондирования Земли / В. Н. Жердев, Д. А. Баранович, А. Ю. Черемисинов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 3(15). – С. 149-157.
5. Кельберт М. Я., Сухов Ю. М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. М.: МЦНМО, 2009. — 295 с.
6. Марков О.Б., Родионов А.В., Цыпук А.М., Эгипти А.Э. Исследования и испытания динамического лункообразователя для посадки лесных культур на вырубках // депонированная рукопись № 742-B2006 05.06.2006.
7. Щеголева Л.В., Пискунов М.А., Воропаев А.Н. К вопросу о размещении трелевочных волоков на лесосеке // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2008. № 6. С. 121-124.
8. Chen G. et al. Object-based change detection //International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Т. 33. – №. 14. – С. 4434-4457.
9. Hussain M. et al. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches //ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2013. – Т. 80. – С. 91-106.

References

1. Voronov R.V., Voronova A.M., Piskunov M.A. The task of covering hypernet weighted rooted trees and its application to optimal design schemes trails at logging sites // Informatics and control systems. 2012. № 1. S. 56-64.
2. Voronov A.M., Voronov R.V., Piskunov M.A., Schegoleva L.V. Algorithm for optimal placement of trails that minimizes damage to the soil // tractors and agricultural machinery. 2013. № 9. 33-35.
3. Gerasimov Yu. Yu. Geographic Information Systems: Theory and Application in wood industry / YY Gerasimov, SA Kilpelyaynen, GA Davydkov. - Joensuu: University of Joensuu, 2000 - 201 p.
4. Zherdev V.N. Kolichestvennyj podhod pri kartografirovanii lesov na osnove dannyh zondirovanija Zemli / V. N. Zherdev, D. A. Baranovich, A. Ju. Cheremisinov // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. – 2014. – № 3(15). – S. 149-157.
5. Kel'bert M. Ya., Suhov Y.M. Probability and statistics examples and problems. T. II: Markov chains as the starting point of the theory of stochastic processes and their applications. M. : MCCME, 2009 - 295 p.
6. Markov O.B., Rodionov A.V., Tsypuk A.M., Egipt A.E. Research and testing of dynamic lunkoobrazovatelya for planting on clearings // deposited the manuscript number 742-V2006 05.06.2006.
7. Schegoleva L.V., Piskunov M.A., Nikolaev A.N. On the placement of skid trails on the cutting area // Bulletin of the Moscow State University of Forestry - Forestry Bulletin. 2008. № 6. S. 121-124.
8. Chen G. et al. Object-based change detection //International Journal of Remote Sensing. – 2012. – T. 33. – №. 14. – C. 4434-4457.
9. Hussain M. et al. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches //ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2013. – T. 80. – C. 91-106.