



МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ГУСТОТЫ ПОДРОСТА И ДРЕВОСТОЕВ ПРИ ЗАРАСТАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В. В. ФОМИН,
доктор биологических наук, профессор,
С. В. ЗАЛЕСОВ,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
А. Г. МАГАСУМОВА,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
Уральский государственный лесотехнический университет
(620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37)

Ключевые слова: подрост, методики оценки густоты подроста и древостоев, сельскохозяйственные земли, зарастание, космические снимки, высокое пространственное разрешение, карта, лесоведение, лесоустройство, лесная таксация.

Уровень развития геоинформационных технологий и технологий веб-картографии в сочетании с доступностью космических снимков высокого пространственного разрешения открывает широкие возможности для создания Интернет-ориентированных информационным систем, предназначенных для получения ряда таксационных характеристик лесных насаждений. В статье проведен сравнительный анализ методик оценки густоты подроста и древостоев с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения на примере земель сельскохозяйственного пользования, зарастающих древесной растительностью. В ходе исследований были созданы векторные геоинформационные слои, содержащие информацию о местоположении деревьев и границ лесных выделов. На их основе в геоинформационной системе с использованием функций алгебры карт был произведен расчет густоты подроста в каждом выделе на основе сплошного перечета подроста и двумя выборочными методами: с использованием автоматизированного метода на основе регулярной сети круговых учетных площадок и угловым дистанционным методом. На основе полученных данных в ГИС были созданы картосхемы распределения густоты подроста на территории район исследований. Проведен анализ сильных и слабых сторон каждого метода. На его основе были разработаны рекомендации по устранению обнаруженных недостатков. Угловой дистанционный метод дает завышенные оценки густоты подроста по сравнению с выборочным оцениванием с использованием сети площадок и расчетом на основании сплошного перечета. Предложены две модификации углового метода, позволяющие повысить точность оценок при сохранении сильной стороны данного метода — относительно низкой трудоемкости его использования. Простота алгоритмов расчета густоты деревьев в сочетании с доступностью космических снимков высокого пространственного разрешения вблизи населенных пунктов, позволяет рассматривать их в качестве необходимого элемента для создания Интернет-ориентированных информационных систем в области лесной таксации, лесоустройства и лесного хозяйства, и, в первую очередь, для оценки зарастания земель сельскохозяйственного назначения древесной растительностью.

METHODS OF TREE STANDS DENSITY ASSESSMENT OF AGRICULTURAL LAND REFORESTATION WITH THE USE OF SATELLITE IMAGES WITH HIGH SPATIAL RESOLUTION

V. V. FOMIN,
doctor of biological sciences, professor,
S. V. ZALESOV,
doctor of agricultural sciences, professor,
A. G. MAGASUMOVA,
candidate of agricultural sciences, associate professor, Ural State Forest Engineering University
(37 Sibirskiy tr. Str., 620100, Ekaterinburg)

Keywords: young trees, agricultural land use, reforestation, methods of tree stands density assessment, satellite image, high spatial resolution, map, forestry, forest taxation, forest inventory.

Level of GIS and web-mapping technologies development, combined with the availability of satellite images with high spatial resolution opens up opportunities to develop of Internet-aware information systems for the taxation of forests. A comparative analysis of tree stand density assessment methods on the basis of high spatial resolution satellite images for agricultural lands, overgrown with woody vegetation, suitable for use for forest inventory web-services were described in this paper. GIS vector layers were created during the studies have established vector GIS layers. They contain information about the location of trees and forest parcels boundaries. On their basis in the geographic information system, using map algebra functions was calculated density of undergrowth in each parcel on the basis of a complete enumeration of undergrowth as well as two sampling methods: using an automated method based on a regular grid of circular plots and angular distance method. Three map of trees density in study area were created using these methods. The analysis of the strengths and weaknesses of each method was implemented. Recommendations were developed to reduce the identified weaknesses. It was developed two modifications of the angular method that allows us to improve the accuracy of density assessment while maintaining strong side of this method — a relatively low complexity of its use. Simple algorithms for calculating the density of trees in conjunction with the availability of satellite images with high spatial resolution near settlements, allows us to consider them as a necessary element for the creation of Internet-aware information systems in the field of forest inventory, forest management, forestry, as well as to assess the overgrowing of agricultural land with woody vegetation.

Положительная рецензия представлена С. Г. Шиятовым, доктором биологических наук, заслуженным деятелем науки Российской Федерации, профессором, ведущим научным сотрудником Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской Академии Наук.



цель и методика исследований.

В конце XX — начале XXI веков в России наблюдается устойчивая тенденция зарастания древесной растительностью неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения. Этот процесс обусловлен экономическими факторами, действующими в этот период. На таких землях требуется проведение мероприятий по картированию, описанию и учету подроста. Суммарная площадь сельскохозяйственных земель в Российской Федерации, на которых наблюдается естественное возобновление древесной растительности, составляет более четырех миллионов гектаров, поэтому объемы наземных обследований и финансовые ресурсы на их проведение являются значительными. Одним из способов сокращения финансовых затрат, уменьшения трудоемкости и увеличения скорости проведения работ является использование космических снимков высокого пространственного разрешения и методик автоматизированной оценки густоты древостоев.

Доступность пользователям сети Интернет космических снимков высокого пространственного разрешения на безвозмездной основе открывают широкие возможности для их использования для решения задач в области лесоведения, лесной таксации и лесоустройства. Уровень развития Интернет-ориентированных информационных технологий и веб-картографирования позволяют разрабатывать онлайн-сервисы для создания карт и расчета значений ряда лесоводственно-таксационных характеристик лесных насаждений с использованием спутниковых снимков.

Цель работы — разработка и сравнительный анализ методик ручных измерений для оценки густоты подроста на землях, вышедших из сельскохозяйственного пользования с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения.

Район исследований — неиспользуемые сельскохозяйственные земли, вблизи деревни Фомино (Сысертский район, Свердловская область). Географические координаты левого нижнего и правого верхнего углов района: 56° 36' 57» с. ш., 61° 01' 55» в. д.; 56° 37' 10» с. ш., 61° 02' 40» в. д. Площадь исследуемой территории составляет 18,9 гектара. С исполь-



Рисунок 1

Результаты контурного дешифрирования границ выделов древесной растительности — участков, отличающихся по густоте подроста и размерам крон деревьев

зованием программного обеспечения SAS Planeta (<http://sasgis.ru/>) были проанализированы доступные космические снимки на территорию района исследований. Для анализа был выбран космический снимок компании DigitalGlobe Inc., представленный в геосервисе Яндекс.Карты (maps.yandex.ru). Обработку и анализ данных выполняли в ГИС RC/INFO и ArcView GIS (ESRI Inc., США).

результаты исследований.

На первом этапе анализа было проведено определение границ выделов — участков, различающихся по густоте подроста и размерам крон деревьев. Данные параметры оценивали визуально. Цифрование границ выполняли в ГИС ARC/INFO. В качестве подложки был использован космический снимок геосервиса Яндекс.Карты. На рис. 1 представлены результаты контурного дешифрирования границ выделов древесной растительности — участков с разной густотой и размерами крон деревьев.

На втором этапе работ был создан точечный векторный слой, каждой точкой в котором было обозначено местоположение дерева (рис. 2). С помощью зонального суммирования точек (функция *zonalsum*) по выделам в ГИС ARC/INFO был произведен расчет количества деревьев в каждом выделе. После этого рассчитывали значение густоты деревьев на гектар.

На рис. 3 приведена картосхема распределения густоты подроста. Необходимо отметить, что создание векторного слоя, в котором точками отмечено местоположение деревьев является достаточно трудоемким процессом. К достоинствам данной методики следует отнести то, что с его помощью возможен учет всех деревьев на исследуемой территории. Недостатками является относительная трудоемкость создания точечного покрытия местоположения деревьев, и невозможность отличить на космическом снимке подрост от подлеска.

Для сокращения трудоемкости работ можно воспользоваться модификацией данной методики. Суть ее состоит в том, что местоположение деревьев определяется не на всей исследуемой площади, а в пределах пробных площадок, центры которых представляют собой регулярную или нерегулярную решетку.

На рис. 4 изображена регулярная сеть пробных площадей (ПП) — круглых площадок радиусом $r = 9$ м, центры которых расположены на удалении $l = 20$ м друг от друга. Внутри ПП каждое дерево

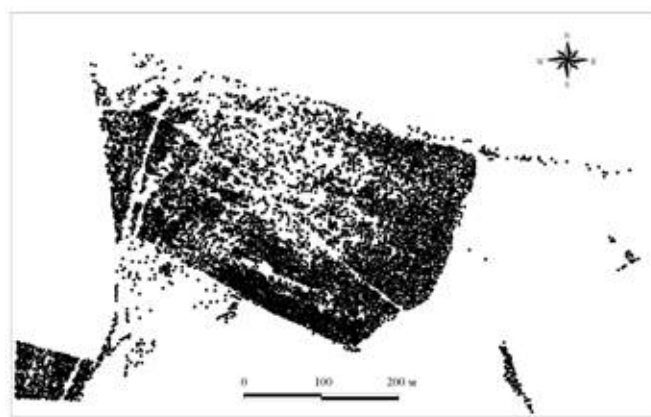


Рисунок 2

Картосхема расположения деревьев в районе исследований
www.avu.usaca.ru

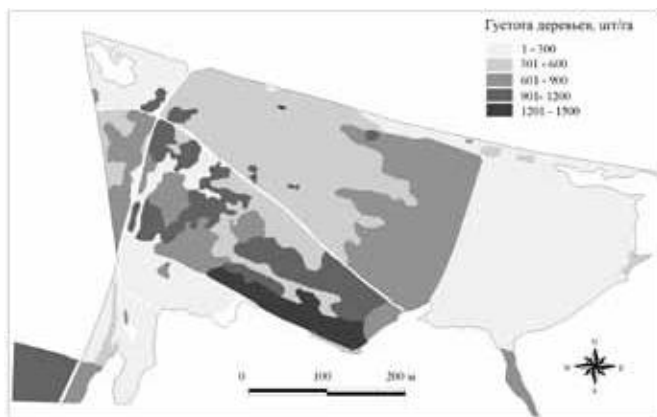


Рисунок 3

Картограмма распределения значений густоты подроста, рассчитанной на основе подсчета всех деревьев в каждом выделе

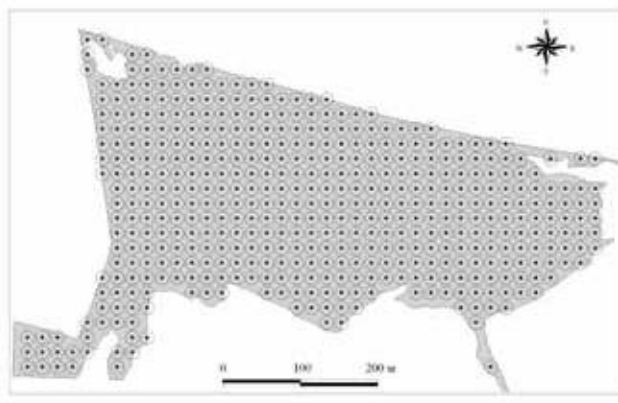


Рисунок 4

Пример регулярной сети пробных площадей. Радиус круга составляет 9 метров, расстояние между центрами окружностей — 20 м

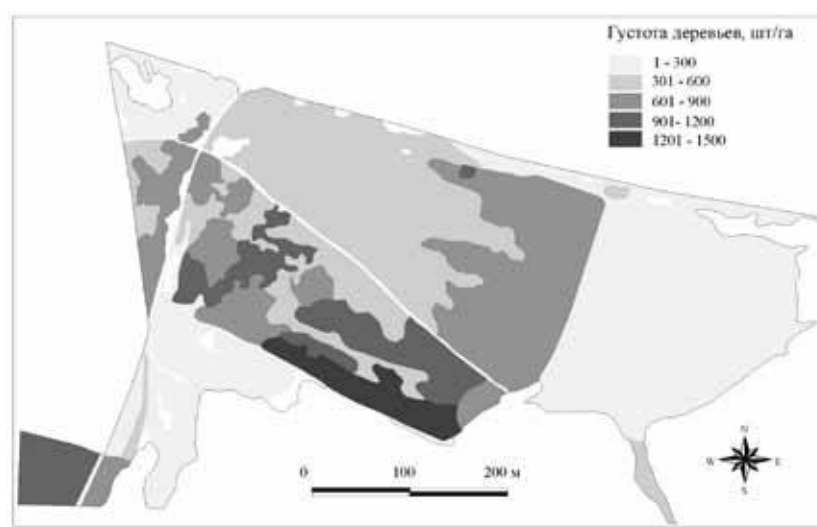


Рисунок 5

Картограмма распределения густоты подроста, значения которой были получены с использованием регулярной сети круглых пробных площадок с радиусом $r = 9$ м и расстоянием между центрами соседних окружностей $l = 20$ м

отмечается точкой. Расчет густоты деревьев производится по следующей формуле

$$G_i = \frac{10000 \times N_i}{s \times n_i} \quad (1)$$

где G_i — густота подроста на i -м выделе, шт/га; N_i — количество деревьев на пробных площадках в пределах выдела, шт.; n_i — количество площадок на выделе, шт.; s — площадь ПП, м².

На рис. 5 приведены картограммы распределения густоты подроста, значения которой были получены с использованием регулярной сети пробных площадей со следующими параметрами: $r = 9$ м, $l = 20$ м. Сравнительный анализ рис. 3 и 5 свидетельствует о том, что, в целом, оценка густоты с использованием полного подсчета деревьев и выборочным методом с помощью сети ПП дает близкие оценки значений густоты деревьев. Однако выборочный метод имеет ряд недостатков. Для выделов, площадь которых меньше площади ПП, могут быть получены искаженные оценки густоты или значения данного показателя не могут быть рассчитаны, если в выдел не попало ни одной пробной площадки. На картограмме, приведенной на рис. 5 видно, что для некоторых выделов значения густоты не были рассчитаны по этой причине. Также необходимо отметить, что вблизи границы района исследований возможно занижение

значений показателя, так как деревья подсчитываются только на части ПП, а в расчетах используется площадь всей площадки.

Так как в пределах выдела распределение густоты деревьев может быть неоднородным, в выборку могут попасть участки густота, которых может отличаться от величины данного показателя, рассчитанного при использовании методики, в основе которой лежит подсчет всех деревьев в выделе. Этот недостаток может приводить как к завышенным, так и заниженным оценкам густоты подроста.

Указанные недостатки могут быть частично или полностью исключены с использованием следующих приемов. Первый из них — возможность ручной корректировки местоположения существующей ПП или добавления дополнительной пробной площадки. Для выделов, размеры которых меньше размера ПП, определение густоты должно выполняться традиционным способом — расчетом отношения количества деревьев на выделе к площади выдела в гектарах. Фрагменты ПП, выходящие за границу района исследований, могут быть обрезаны. В этом случае в расчетах будут использованы скорректированные значения площадей ПП.

Определение густоты подроста по космическим снимкам также может производиться с использованием «углового дистанционного метода определе-

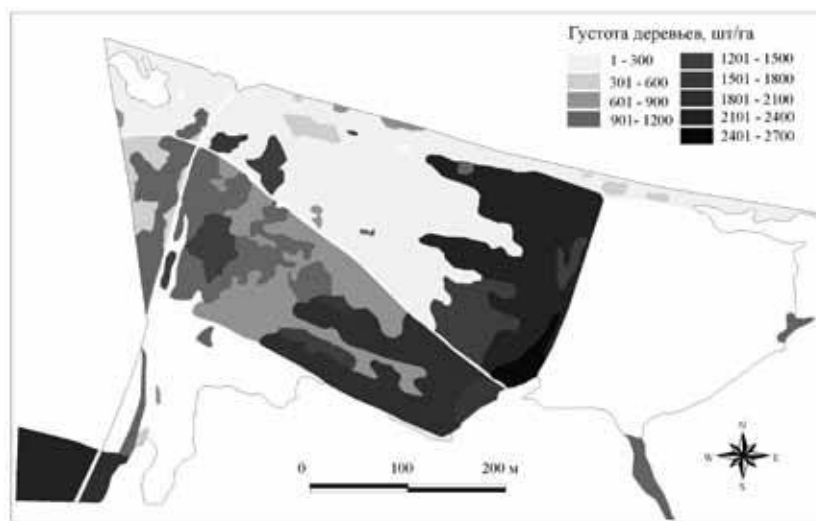


Рисунок 6

Картосхема района исследований, характеризующая распределение значений густоты подроста, рассчитанной с использованием дистанционного углового метода

ния густоты древостоев», рассчитываемому по величине среднего расстояния между деревьях УДМ-УЛТИ [1]. Его суть состоит в определении расстояния между деревьями вдоль трансекты — линии по выбранному азимуту с «плавающим» углом $77^{\circ} 30'$. Таксатор измеряет расстояние от одного ближайшего дерева до другого в границах «плавающего» угла. Среднее расстояние и густота рассчитываются по следующим формулам

$$r = \frac{L}{n-1}, \quad (2)$$

$$G = \frac{10000}{r^2}, \quad (3)$$

где r — среднее расстояние между деревьями, м; L — суммарное расстояние между деревьями (длина ломаной), м; n — число учетных деревьев, шт.; G — густота древостоя, шт./га. На рис. 6 приведена картосхема района исследований, характеризующая густоту подроста, определенную с использованием дистанционного углового метода.

Из всех рассмотренных в данной статье методик оценки густоты, данный угловой метод является одним из наименее трудоемких. Однако, при измерении расстояния между деревьями с его помощью используются ближайшие деревья. Это приводит к завышению значений густоты подроста на выделе, что наглядно видно при сравнительном анализе картосхем, приведенных на рис. 3, 5 и 6. При этом общие закономерности изменения густоты в пространстве района исследований на всех трех картосхемах, в целом, совпадают.

Возможной альтернативой угловому дистанционному методу являются следующие варианты измерения среднего расстояния между деревьями, которые условно названы «звезда» и «ломаная». В первом случае в разных частях выдела выбираются случайным образом несколько деревьев. Их количество может меняться в зависимости от размера выдела. Оптимальным вариантом с точки зрения трудозатрат измерений и надежности получаемых оценок среднего расстояния является выборка из 5–15 деревьев. Для каждого из них проводятся измерения расстояния от него до всех ближайших к

нему деревьев. Для расчета среднего расстояния и густоты подроста или древостоя используются формулы (2) и (3).

При использовании варианта методики «ломаная» используется следующий алгоритм выбора ближайшего дерева. На первом этапе работы случайным образом выбирается дерево — точка начала измерений (точка 1). Затем (этап 2) выбирается ближайшее к точке начала измерений дерево (точка 2). На третьем этапе оценивается расстояние до наиболее близких к точке 2 деревьев, выбирается максимально удаленное от него (точка 3) и измеряется расстояние до него. Далее, последовательно чередуются этапы 2 и 3. В зависимости от размера выдела может потребоваться построение нескольких ломаных. Для расчета среднего расстояния и густоты древостоя также используются формулы (2) и (3).

Алгоритм выбора расстояния от одного дерева до другого в варианте методики «ломаная» может быть дополнен промежуточным этапом, на котором возможен выбор не только самого близкого и наиболее удаленного из группы ближайших деревьев, но и дерева, расстояние до которого больше, чем до самого близкого, но меньше, чем до наиболее удаленного.

Описанные выше методики оценки густоты требуют верификации с помощью наземных обследований. Последние лишены недостатка, связанного с невозможности отличить на космическом снимке подрост от подлеска. Однако необходимо учитывать то, что они основаны на выборочном методе исследования, то есть наземные обследования проводятся на пробных площадках, а это как было показано выше также может приводить к получению искаженных оценок густоты подроста в пределах выдела.

Таким образом, сравнительный анализ методик оценки густоты подроста и древостоев с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения путем полного или выборочного подсчета деревьев на выделе, а также расчета ее значений через среднее расстояние между деревьями является простым, удобным, относительно быстрым и не менее трудоемким, по сравнению с наземными обследованиями, способом получения важного таксационного признака лесных насаждений. Простота



алгоритмов и расчетов густоты деревьев в сочетании с доступностью космических снимков высокого пространственного разрешения вблизи населенных пунктов, позволяет рассматривать их в качестве необходимого элемента для создания Интернет-ориентированных информационных систем в области лесной таксации, лесоустройства и лесного хозяйства,

и, в первую очередь, для оценки зарастания земель сельскохозяйственного назначения древесной растительностью.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственные задания высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности) № 2001 и № 2056.

литература

1. Залесов С. В., Шастин В. И. Усовершенствование отвода лесосек при рубках ухода // Свердловский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации. Информационный листок № 309-83. 1983. С. 1–4.

References

1. Zalesov S. V., Shastin V. I. Improvement coupe demarcation // Sverdlovsk interdisciplinary territorial center of scientific and technical information. Factsheet № 309-83. 1983. P. 1–4.