

УДК 630*587.5
DOI 10.17513/use.38169

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТАКСАЦИИ ЛЕСА НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА

Щербакова Л.Н., Федулова Е.А., Рада А.О.

*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,
e-mail: rada.ao@kemsu.ru*

В работе представлено новое инновационное направление развития лесного хозяйства, происходящее в условиях цифровой революции – цифровая таксация леса. Цель работы – определение сути цифровой таксации леса, изучение механизма ее реализации, выявление положительных и отрицательных последствий ее проведения. Рассмотрено явление цифровой таксации во взаимосвязи с технологией «геоинформационных систем». Географическая информационная система в исследовании присутствует как система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных о лесном ресурсе страны. Представлены этапы и основные результаты цифровой таксации, проведенной в определенном регионе: Кемеровским государственным университетом в Кемеровской области – Кузбассе, где процесс был организован с помощью воздушных судов. Показаны базовые документы как итог цифровой таксации леса: составление точного ортофотоплана; формирование изображения плотного облака точек исследуемого участка; вычисление количества всех отдельно стоящих деревьев со сбором информации об их точных координатах, высоте. В исследовании применен нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) как методически наиболее совершенный инструмент. В работе были выявлены недостатки используемого метода. Был сформирован базовый вывод работы, включающий как тезис о необходимости дальнейшего развития практики цифровой таксации леса, так и об учете недостатков, выведенных ее участниками. Работа выполнена в рамках свода аналитических работ, выполненных по результатам мониторинга состояния городских лесов, проекта «Геоинформационная система цифрового регионального управления».

Ключевые слова: цифровая таксация, геоинформационная система, Кемеровская область – Кузбасс, преимущества и положительные последствия цифровой таксации, нормализованный относительный индекс растительности (NDVI)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенное между Минобрнауки России и Федеральным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет».

THE PRACTICE OF USING AIRCRAFT FOR DIGITAL FOREST INVENTORY ON THE EXAMPLE OF THE KEMEROVO REGION – KUZBASS

Scherbakova L.N., Fedulova E.A., Rada A.O.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: rada.ao@kemsu.ru

The paper presents a new innovative direction for the development of forestry, taking place in the context of the digital revolution – digital forest inventory. The aim of the work is to determine the essence of digital forest inventory, to study the mechanism of its implementation, to identify the positive and negative consequences of its implementation. The phenomenon of digital taxation in conjunction with the technology of “geographic information systems” is considered. The geographic information system in the study is present as a system for collecting, storing, analyzing and graphically visualizing spatial (geographical) data on the country’s forest resource. The stages of the process and the main results of the digital inventory carried out in a certain region are presented: by the Kemerovo State University in the Kemerovo Region-Kuzbass, where the process was organized with the help of aircraft. The basic documents are shown as a result of the digital inventory of the forest: compilation of an accurate orthophoto; formation of an image of a dense cloud of points of the study area; calculation of the number of all free-standing trees with the collection of information about their exact coordinates, height. The Normalized Relative Vegetation Index (NDVI) was used in the study as a methodologically the most perfect tool. The disadvantages of the method used were identified in the work. The basic conclusion of the work was formed, including both the thesis on the need for further development of the practice of digital forest inventory, and on taking into account the shortcomings identified by its participants.

Keywords: digital inventory, geographic information system, Kemerovo region – Kuzbass, advantages and positive consequences of digital inventory, normalized relative vegetation index (NDVI)

The work was carried out with the financial support of the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, agreement No. 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the federal budgetary educational institution of higher education «Kemerovo State University».

Начиная с конца прошлого столетия человечество пытается совместить решение плохо сочетаемых проблем: обеспечить рост экономики и благосостояния людей и сократить экологическую нагрузку на окружающую среду. Более десяти лет назад мировая общая озабоченность изменением климата определила необходимость разработки Парижского соглашения, которое стало отправным пунктом движения по направлению к экономике, построенной на низкоуглеродной «чистой» энергетике. Это соглашение включило в себя свод правил, в результате реализации которых стало бы возможным снижение отрицательного воздействия на климат и оказание помощи развивающимся странам в деле приспособления к изменению климата. Было выявлено, что существуют пути решения экологической проблемы. Например, приводятся расчеты, где указывается, что при условии инвестирования в чистые технологии энергетической отрасли в будущем возможно обеспечить существенное снижение объема выбросов.

Огромное значение в выработке кислорода и сокращении углекислого газа на планете имеют лесные массивы. К сожалению, мировая тенденция такова, что лесистость на планете Земля непрерывно снижалась. 10 000 лет назад она составляла 50–60% суши, 100 лет назад – 30–40%, а сейчас – 23–30% [1]. На европейском пространстве первичных лесов практически не осталось, в Китае уничтожена почти половина лесных массивов, быстрыми темпами шло истребление лесных ресурсов в Юго-Восточной Азии и странах Латинской Америки. США близки к той точке развития, для которой характерно полное уничтожение леса.

Российская Федерация еще располагает большими территориями лесов, хотя нельзя сказать, что данные ресурсы рационально используются. Негативными последствиями вырубания лесов является падение уровня вырабатываемого кислорода, разрушение почвенного слоя, резкое сокращение флоры и фауны, снижение влагообмена и рост пустынь. К сожалению, рыночный механизм функционирования подталкивает к такой позиции человека, когда его больше интересует экономическая выгода от растительного и животного мира, чем его разнообразие.

Реалии современного общества состоят в том, что цифровая революция стала новым мощным трендом развития [2]. Цифровизация, начавшаяся в XX в., прочно укрепилась в экономике XXI в. Указанный

термин имеет различные трактовки, это, например, переход на цифровой способ связи, то есть передача данных с помощью цифровых устройств [3].

Основоположники теории информационного общества отличались особым, прогрессивным взглядом на решение экологических проблем. Так, Д. Белл говорил об истощении ресурсов, доставшемся в наследство от индустриального общества [4]. М. Кастельс выражал надежду, что информационному обществу будет присущ дух глобализма, в котором отношения между человеком и природой будут гармоничными [5]. Таким образом, забота о ценнейшем экологическом ресурсе – лесных массивах – органично вписывается в теорию цифрового общества.

Информационная и цифровая революции нашли свое отражение в самых разнообразных сферах деятельности. Совершенствование процесса поиска, обработки, передачи информационного ресурса является важнейшей частью инновационных преобразований практически любой части народного хозяйства. На определенном этапе цифрового развития появилось такое направление, как ГИС-технологии. Понятию «геоинформационная система» или географическая информационная система дается следующее определение: – это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах [6]. Существуют и другие трактовки термина «геоинформационная система»: так, его представление, в узком смысле слова, означает программный продукт, целью которого является поиск дополнительной информации об определенных объектах, анализ цифровой карты местности.

Технология геоинформационных систем в современных условиях используется в самых разнообразных сферах национальных экономик, например в инженерной геодезии и землеустройстве, управлении городским хозяйством, нашла применение и в лесном хозяйстве.

Лесное хозяйство, леса выступают ценнейшим производственным ресурсом. Поэтому весьма важно отношение человека к защите лесов, их рациональному использованию. Важной становится управленческая функция в данном вопросе. Государство располагает самой полной и всеобъемлющей информацией о состоянии лесных ресурсов, может выработать долгосрочную стратегию по управлению лесным фон-

дом страны [7]. Для России эта проблема очень актуальна.

Цель исследования – определение сути цифровой таксации леса, изучение механизма ее реализации, выявление положительных и отрицательных последствий ее проведения.

Материалы и методы исследования

Исследование основано на анализе научных публикаций, посвященных проблемам лесной таксации, развитию цифровых технологий. Работа опирается на системный подход, используются приемы анализа и синтеза для того, чтобы отдельно полученные данные о способах оценки лесного ресурса были собраны в единую систему выводов. Используются материалы из открытых источников интернета и базы данных РИНЦ. Глубина поиска, учитывая динамику развития цифровых технологий, была ограничена в основном пятью годами, по отдельным вопросам ГИС в лесном хозяйстве целесообразно цитирование некоторых более ранних работ.

Результаты исследования и их обсуждение

Механизм цифровой таксации. Наука по защите леса имеет свою историю. Первая научная мысль, связанная со значением лесного ресурса, зародилась в начале XX в. Ее основоположники сформировали положения по количественной и качественной оценке лесов. Отдельными, значимыми направлениями стали лесоустройство и лесная таксация, они были адекватны советской модели хозяйствования. В тот период успешно развиваются наука и техника: так, в XX в. были применены самолеты для сбора информации о состоянии лесов. В частности, были использованы фотоаппараты для расшифровки информации о миллионах гектаров земель лесного фонда. Спустя полвека информация о лесах стала собираться автоматически из космического пространства. Так, геостационарные спутники Земли, находящиеся в оптическом диапазоне, имели возможность собрать огромные массивы информации о состоянии лесной зоны.

Новый эволюционный этап в обработке и сборе информации о лесах возник на основе развития компьютерной техники и появления беспилотных летательных аппаратов. Офисная техника позволила собранный материал о лесах перенести с бумажных носителей на цифровые, тем самым обеспе-

чив новое качество работы с информацией. Применение беспилотных летательных аппаратов обеспечивает учет хвойных и лиственных пород (таксацию), существенно отличающуюся от традиционной, ручной. Аппарат за полчаса полета получает сотни снимков. Специальная программа обрабатывает фотографии, давая информацию об объеме древостоя и породе каждого дерева, выделяя данные цветами. Один вылет дрона обеспечивает наличие фотоснимков нескольких гектаров леса. Информация поступает на специальный сервер, на котором происходит склейка снимков и устранение бракованных изображений.

Несмотря на то, что теоретические основы, методы, традиционные средства сбора информации о лесах сохраняют свое значение и в современных условиях, цифровая таксация [8], без сомнения, представляет новую методологическую базу количественной и качественной оценки лесов.

Существующие методы и технологии аэрофотосъемки имеют широкий спектр функций, в частности позволяют для решения множества задач лесоустройства применять беспилотные летательные аппараты. Кроме той пользы, которая была определена выше, регулярный мониторинг городских лесов с помощью данной техники аккумулирует информацию о незаконных вырубках леса, о создании несанкционированных свалок и очагов пожара. Полученные в результате аэрофотосъемки таксационные показатели древостоев дают возможность анализа состояния лесных ресурсов с тем, чтобы в дальнейшем были приняты меры по их сохранению и воспроизводству.

Практика проведения цифровой таксации в Кемерово. Институтом цифры Кемеровского государственного университета была проведена аэрофотосъемка лесного участка одного из районов города – Рудничного бора. Целью мероприятия являлась попытка оценить состояние городских лесов на основе проведения их мониторинга. Параметры съемки были следующими: общая ее площадь составила 4,28 км², разрешение снимков – 3,18 см/пикс. Важно для точности результатов было использование светлого времени суток с перекрытием снимков 80/60 с той целью, чтобы как можно точнее определить координаты деревьев.

В исследовании было применено оборудование, являющееся беспилотным воздушным судном DJI Phantom 4 Multispectral. Представим технические характеристики данного оборудования (таблица).

Основные характеристики DJI Phantom 4 Multispectral

Рассматриваемые параметры оборудования	Значение параметров
Взлетная масса	1487 г
Размер по диагонали	350 мм
Макс. высота полета	500 м
Макс. скорость набора высоты	6 м/с
Макс. скорость снижения	3 м/с
Макс. скорость полета	16,1 м/с
Макс. время полета	27 мин
Диапазон рабочих температур	0 ...+40 °С
Диапазон рабочих частот	2,4–2,4835 ГГц (Европа, Япония, Корея)
Мощность передатчика (ЭИИМ)	< 20 дБм (СЕ/МС/КСС)
Расположение камеры	Внешняя в комплекте
Угол обзора камеры	62,7°
Максимальное разрешение видеосъемки	2160р
Разрешение фото по вертикали	1300 пикс.
Разрешение фото по горизонтали	1600 пикс.
Максимальное количество аккумуляторов	1 шт.
Емкость аккумулятора	5870 мА·ч
Напряжение аккумулятора	15.2 В

Примечание: составлено авторами по результатам съемки в Рудничном бору г. Кемерово.

Данный беспилотный летательный аппарат одной из своих функций имеет возможность проведения мультиспектральной съемки, которая является средством анализа здоровья растительного мира лесов.

Названный характер съемки обеспечивает получение в одном периоде нескольких изображений по одной локации, имеющих различные зоны спектра электромагнитного излучения. Это, в свою очередь, дает возможность использовать для анализа различные вегетационные индексы.

Для обработки информации был взят наиболее значимый и широко используемый вегетационный индекс – индекс NDVI (нормализованный относительный индекс растительности) [9, 10]. Он рассчитывается с помощью формулы

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне спектра; RED – отражение в красном диапазоне спектра.

Расчет нормализованного относительного индекса растительности ведется на основе результатов съемки в красном и ближнем инфракрасном каналах, количественный диапазон показателя – от 0, где отсутствует вегетация, до 1, где максимальная вегетация. Практика показывает, что

относительный объем биомассы зеленых растений, соответствующий реальной действительности, не превышает индекс величиной 0,95. Для получения информации о состоянии деревьев накладываются координаты отдельно стоящих деревьев на карту нормализованного относительного индекса растительности, после чего формируются данные о степени здоровья каждого отдельно взятого дерева, причем в соответствии с вегетационным периодом.

Нормализованный разностный вегетационный индекс содержит данные о состоянии здоровья растений, полученные благодаря отражательной способности растений реагировать на определенные частоты. Механизм действия формируется так, что одни волны поглощаются, а другие отражаются. Пигментом-индикатором здоровья растений является хлорофилл, который интенсивно поглощает видимый свет, при этом клеточная структура листьев интенсивно отражает ближний инфракрасный свет. Когда объекты растительного мира, в том числе деревья, получили повреждения или болеют, причиной чего могут быть вредители или водный стресс, они склонны поглощать больше света в ближнем инфракрасном диапазоне, хотя для их здоровья требуется его отражение. Данная особенность растений

легла в основу наблюдательного метода исследования их здоровья, так как получение информации об изменении отражательной способности растений в NIR и RED диапазонах, прежде всего, дает полную картину о содержании в них хлорофилла. Далее, это означает возможность дать оценку их здоровью, определить, какова динамика развития растений: позитивная или негативная. Сама по себе динамика индекса вегетации несет в себе сведения о нарушениях в развитии деревьев: внезапное падение значений индекса может означать ухудшение их здоровья в результате засухи, заболачивания, появления вредителей. Для занятых в лесной отрасли это означает команду к проведению дополнительных работ на соответствующих участках лесной зоны.

По указанным причинам технологию расчета нормализованного относительного индекса растительности считают важным и точным методом контроля при условии регулярного обновления снимков. Метод аэрофотосъемки в конечном счете дает возможность производить сравнительную оценку лесохозяйственных предприятий целых областей, а впоследствии качественнее организовывать, планировать лесохозяйственные мероприятия. Насущные проблемы лесного хозяйства решаются во многом благодаря прямой взаимосвязи индекса и продуктивности.

В результате проведения цифровой таксации были получены результаты изображения Рудничного бора в виде цифровых снимков с цветовой индикацией по индексу NDVI, низкое значение которого свидетельствует о болезни деревьев.

Вся совокупность сведений, полученных в результате проведенной аэрофотосъемки, была обработана в специализированном фотограмметрическом программном обеспечении. Конечным результатом стали облако точек, соответствующее набору вершин в трехмерной системе координат, а также непосредственно фотограмметрический план местности, полученный на точной геодезической основе.

Важным показателем, характеризующим наличие ресурса городского леса на территории Кемеровской области, явился объем древостоя. Чтобы рассчитать общее количество деревьев, было применено специальное программное обеспечение, позволяющее исследовать с помощью технологии «машинное зрение». Характер рисунка, предоставляющий информацию о совокупности точек кроны, стал основой

расчета количества отдельно стоящих деревьев. Точность определения их количества может быть осложнена фактором смыкания крон отдельно стоящих деревьев или раздвоения крон одного дерева. В результате показатель точности вычисления общей массы отдельно стоящих деревьев составил 93%. Данные сведения были получены на участке площадью 5500 м² путем сравнения информации о количестве отдельно стоящих деревьев, произведенной с помощью машинного зрения, и глазомерно с последующей экстраполяцией на всю площадь Рудничного бора.

В результате проведенного эксперимента было установлено, что объем лесного массива в Рудничном бору составляет 255799 ед. Изображение на снимках участка отдельно стоящих деревьев дало возможность определить координаты и высоту каждого дерева. Совокупность сведений, полученных при посредстве обработки снимков мультиспектральной съемки, расчета нормализованного относительного индекса растительности и разработки данных об объеме древостоя дает возможность отобразить итоговый результат в виде построения таблицы с индивидуальной информацией по каждому дереву с отражением его ширины, долготы, высоты, площади проекции кроны и Индекс NDVI проекции кроны.

Заключение

Выводы работы совпадают с оценкой результатов исследования, реализованного Кемеровским государственным университетом. Значимым итогом выполненных работ является, во-первых, составление точного ортофотоплана с разрешением 3,18 см/пикс; во-вторых, формирование изображения плотного облака точек исследуемого участка; в-третьих, вычисление количества всех отдельно стоящих деревьев со сбором информации об их точных координатах, высотой и нормализованным относительным индексом растительности (NDVI).

В результате проведенных работ были выявлены недостатки используемого метода. В частности, оказалось, что невозможно составить полную картину о количестве отдельно стоящих деревьев по облаку точек, так как выпадают из поля зрения деревья высотой ниже 2 м и подлесок. Кроме того, присутствует погрешность в определении точности координат вершины дерева, поскольку в соответствии с программой координаты центра соответствовали наивыс-

шей точке кроны, а нужно было исходить из фактического центра окружности кроны дерева. Однако, несмотря на незначительные погрешности, можно сделать вывод о целесообразности применения практики цифровой таксации леса в народном хозяйстве как нового, эффективного, быстрого (в сравнении с традиционными методами) метода таксации.

Список литературы

1. Никитина Е., Пожилова Н. Международный механизм компенсации климатических потерь и ущерба: новации // *Мировая экономика и международные отношения*. 2023. Т. 67, № 10. С. 62–70.
2. Берендеева А.Б., Елизарова А.А. Цифровизация управления: региональный и муниципальный уровни // *Современные наукоемкие технологии*. 2022. № 3. С. 6–17.
3. Щербакова Л.Н. Структурные деформации как компонент инновационного развития // *ЭКО*. 2019. № 2 (536). С. 22–35.
4. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования / Пер. с англ. М.: Академия, 2004. 788 с.
5. Кастельс М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура: пер. с англ. / Под ред. О.И. Шкаратана. М.: ГУ ВШЭ, 2000. 608 с.
6. Богданов Е.Н. К инженерно-геологическим изысканиям // *Изыскательский вестник*. 2014. № 2 (19). С. 19–24.
7. Терентьева В.Д. Возможности и угрозы для потенциала ЛПК РФ в условиях экономической блокады // *Экономика и предпринимательство*. 2021. № 12 (137). С. 525–529.
8. Беспалова В.В. История изменений в экономической оценке лесных ресурсов для финансирования лесного хозяйства Российской Федерации // *Лесоведение*. 2022. № 2. С. 213–224.
9. Вагизов М.Р. Применение интерактивного картографического сервиса для расчета количества деревьев программно-техническим методом // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 3. С. 50–58.
10. Князева С.В., Никитина А.Д., Белова Е.И. и др. Методические подходы к оценке характеристики лесов по данным спутниковой съемки сверхвысокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне // *Лесоведение*. 2021. № 6. С. 645–672.