

Научная статья  
УДК 574.34:630\*533

## МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИСТВЕННОСТИ СИБИРСКОЙ НА ВЕРХНЕМ ПРЕДЕЛЕ ЕЕ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНИМКОВ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Егор Михайлович Агапитов<sup>1</sup>, Владимир Евгеньевич Рогачев<sup>2</sup>, Анна Павловна Михайлович<sup>3</sup>, Валерий Владимирович Фомин<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> agapitovem@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> rogachevve@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> anna.mikhailovich@gmail.com

<sup>4</sup> fominvv@m.usfeu.ru

**Аннотация.** В статье приведено описание методики распознавания операторами лиственницы сибирской, находящейся на пределе ее произрастания на Полярном Урале на снимках, полученных с использованием малоразмерного летательного аппарата. При создании методики были использованы данные 9 пробных площадей, заложенных вдоль высотного градиента на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из. Анализ результатов распознавания операторами экземпляров лиственницы сибирской на аэроснимках в пределах пробных площадей свидетельствует о высокой согласованности полученных ими данных. Применение предложенных характеристик снимка и методика обучения операторов могут быть использованы для картирования древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания.

**Ключевые слова:** аэроснимки, беспилотный летательный аппарат, распознавание, подрост, деревья

**Благодарности:** работа выполнена в рамках исполнения госбюджетных тем FEUG-2020-0013 и FEUG-2021-0009.

Scientific article

## THE METHOD OF RECOGNITION OF SIBERIAN LARCH AT THE UPPER LIMIT OF ITS GROWTH IN THE POLAR URALS USING IMAGES OF AN UNMANNED AIRCRAFT

**Egor M. Agapitov<sup>1</sup>, Vladimir E. Rogachev<sup>2</sup>, Anna P. Mikhailovich<sup>3</sup>, Valery V. Fomin**

<sup>1,2,4</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>3</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> agapitovem@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> rogachevve@m.usfeu.ru

<sup>3</sup> anna.mikhailovich@gmail.com

<sup>4</sup> fominvv@m.usfeu.ru

**Abstract.** The article describes the method of recognition by operators of Siberian larch growing at the limit of its growth in the Polar Urals in the images obtained using an unmanned aircraft. When creating the methodology, data from 9 test plots were used, laid along the high-altitude gradient on the southeastern macroslope of the Rai-Iz mountain range. The analysis of the results of recognition by operators of Siberian larch trees on aerial photographs within the trial plots indicates a high consistency of the data they obtained. The application of the proposed characteristics of the image and the training technique for operators can be used to map woody vegetation at the upper limit of its growth.

**Keywords:** aerial photographs, unmanned aircraft, recognition, undergrowth, trees, *Larix sibirica* Ledeb, Polar Urals

**Acknowledgments:** This work was supported by the Russian Ministry for Education and Science (projects No. FEUG-2020-0013 and No. FEUG-2021-0009).

Юго-восточный макросклон горного массива Рай-Из является одним из известных мониторинговых полигонов, на котором проводятся исследования по изучению реакции древесной растительности на изменение климата [1]. Развитие беспилотных технологий получения ДДЗ аппаратно-программных комплексов, низкий уровень антропогенных воздействий на растительные сообщества горного массива Рай-Из позволяют изучать климатогенно обусловленные изменения местоположения лиственницы сибирской на верхнем пределе ее произрастания.

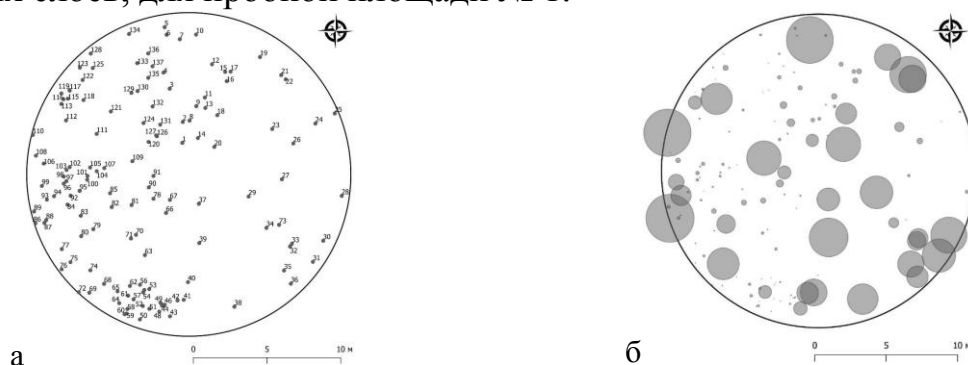
Цель исследования – разработка методики распознавания подроста и деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb) в экотоне верхней границы древесной растительности на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из (Полярный Урал) с использованием снимков, полученных с применением беспилотного летательного аппарата.

Определение местоположения и некоторых биометрических параметров деревьев дистанционным способом является актуальной задачей в области экологических исследований, лесной таксации и лесоустройства. Для оценки качества распознавания объектов необходимо иметь данные наземных измерений. На первом этапе исследований были заложены три профиля, каждый из которых состоит из трех круговых пробных площадей (ПП)

радиусом 11 м. На каждой ПП у каждого дерева определяли следующие биометрические показатели: величину диаметра ствола у шейки корня и на высоте 1,3 м (для деревьев, высота которых превышала данный порог); максимальную величину проекции кроны в двух перпендикулярных направлениях; высоту дерева и его возраст.

Получение снимков высокого пространственного разрешения производилось с применением аккумуляторного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 Advanced (DJI Official, Китай). Высота полета БПЛА составляла 50 м над поверхностью исследуемой территории, направление камеры – в надир.

На втором этапе работы были созданы векторные точечные слои с координатами каждого дерева, которые были вычислены при помощи тригонометрических формул. С использованием средних значений радиуса кроны дерева, рассчитанного как среднее значение двух величин проекции кроны в геоинформационной системе QGIS (Qgis.org), были созданы полигональные слои, в которых крона дерева представлена в виде кругового шаблона, рассчитанного на основе среднего радиуса кроны. На рисунке представлены картосхемы, созданные на основе описанных выше полигональных слоев, для пробной площади № 1.



Картосхемы размещения подроста и деревьев лиственницы сибирской на пробной площади № 1: а – векторный точечный слой местоположения центров экземпляров лиственницы; б – полигональный слой проекции кроны

Для обучения 4 операторов были использованы снимки и данные наземных измерений трех пробных площадей, остальные 6 пробных площадей были использованы в качестве тестовой выборки для контроля результатов работы операторов.

На этапе обучения в границах пробных площадей с использованием снимка и точечного и полигонального слоев производили обучение определения местоположения экземпляров лиственницы и величины их кроны. После перерыва оператор в QGIS распознавал деревья, создавая точечный и полигональный слои, и проводил их сопоставление со слоями, созданными на основе данных наземных измерений. После этого каждый оператор делал перерыв на другой вид деятельности, не включающий в себя нагрузку на зрительный аппарат, с интервалом не менее 1 ч.

После проведения обучающей процедуры операторы выделили следующие отличительные характеристики, по которым можно определить местоположение и выделить кроны подроста и деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Крона лиственницы имеет светло-зеленый цвет [2], отличающийся от оливкового цвета крон можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.). Конусовидная форма тени от лиственницы позволяла отличить ее от куста можжевельника сибирского, крона которого имеет более округлую форму по сравнению с формой кроны лиственницы. В солнечную погоду кроны лиственницы плохо различимы на фоне кустарникового яруса карликовой березы (*Betula nana* L.). При этом тень от ствола дерева является дополнительным дешифровочным признаком, позволяющим выделить лиственницу на этом фоне [3].

Четвертый этап включал работу операторов с тестовыми пробными площадями. Каждому оператору было дано две попытки для распознавания экземпляров лиственницы, интервал между попытками также составлял более 1 ч. Результаты распознавания приведены в таблице.

Количество распознанных операторами крон экземпляров лиственницы на тестовых пробных площадях

Оператор	№ попытки	Пробная площадь					
		1	3	5	6	8	9
№ 1	1	74	8	70	17	53	11
	2	68	8	72	17	53	10
№ 2	1	40	7	54	14	53	10
	2	42	7	52	12	50	10
№ 3	1	49	7	58	16	48	12
	2	45	7	55	14	50	10
№ 4	1	58	7	75	16	63	13
	2	59	8	77	18	63	11

Обработку результатов распознавания подроста и деревьев лиственницы сибирской производили по ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 [4]. Для оценки согласованности результатов используются значения *h*- и *k*-статистики Менделя, представленные в виде графиков. Воспроизводимость результатов, полученных каждым оператором, демонстрирует график *k*-статистики, совместимость результатов, полученных разными операторами, оценивают с использованием *h*-статистики.

Если расчетное значение статистики меньше 5%-ного критического интервала, то результат признают корректным. Подозрительные результаты относят к квазивыбросам, удовлетворяющим промежутку больше 5%-ного и меньше 1%-ного критического значения. Такие результаты требуют пристального изучения и объяснения. Позиция признается выбросом при значениях больше 1%-ного критического значения.

Следуя этим критериям, установили, что квазивыбросом по *h*-статистике признаны результаты у четвертого оператора, на пробе под номером восемь. Это означает, что один оператор распознал больше деревьев относительно среднего значения всех операторов.

Положительные или отрицательные данные *h*-статистики характеризуют склонность операторов к определению большего или меньшего количества объектов относительного общего среднего. Такая тенденция прослеживается у второго и третьего операторов, которые распознали меньшее количество крон деревьев. Результаты операторов являются согласованными, так как лежат в пределах критических значений.

Анализ значений *k*-статистики позволил установить, что четвертый оператор имеет завышенный показатель, который отнесен к выбросу. Анализ этого выброса показал, что при повторном распознавании было определено на 1 объект больше, остальные же операторы получили совпадающее количество объектов.

В целом графический анализ воспроизводимости и согласованности результатов распознавания экземпляров листовенницы на аэроснимках операторами свидетельствует о том, что разработанная методика может использоваться для распознавания объектов. В пределах изменчивости операторы распознают одинаковое количество крон, при повторном распознавании различия среди оценок операторов принято считать несущественными. Тестовые статистики могут быть приведены в норму при периодическом обучении и контролирующихся мероприятиях.

Полученные данные демонстрируют, что примененные выше цветовые и морфологические характеристики позволяют дешифрировать листовенницу сибирскую на мозаиках с высоким пространственным разрешением. Представленная методика дает возможность эффективного распознавания деревьев *Larix sibirica* Ledeb. в пределах ЭВГДР (Полярный Урал).

## Список источников

1. Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург : УрО РАН, 2009. 216 с.
2. The brightness of colour / D. Corney, J. P. Haynes, G. Rees, R.B. Lotto // PLoS One. 2009. Vol. 4, № 3. P. 5091.
3. Lotto R.B., Purves D. An empirical explanation of the Chubb illusion // J. Cogn. Neurosci. 2001. Vol. 13, № 5. P. 547–555.
4. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 2 : Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений / Постановление Госстандарта России от 23 апреля 2002 г. № 161-ст 2002 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200029976> (дата обращения: 07.12.2021).