

УДК 630\*587.5

## МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕСОТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРЕВОСТОЕВ

Михайлова А.А., Вагизов М.Р.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург, e-mail: nurachka88@rambler.ru, bars-tatarin@yandex.ru

В данной статье рассматривается методика определения основных таксационных характеристик насаждения, таких как запас, средний диаметр и высота древостоя, на основе данных дистанционного зондирования Земли и аллометрических закономерностей с использованием программно-информационного обеспечения. Современные технологии обработки геопространственных данных позволяют проводить анализ древесной растительности при помощи снимков сверхвысокого и высокого пространственного разрешения. Полученные в результате исследований данные о густоте лесных насаждений, которые позволяют, на основе широкоизвестных аллометрических закономерностей, получить данные о характеристиках анализируемого древостоя. Одним из подходов к решению данной задачи является использование ряда технологий с применением компьютерной обработки снимков, полученных как с беспилотных летательных аппаратов, так и изображений открытых картографических сервисов. В основе определения числа деревьев на снимке лежит технология распознавания образов с использованием заготовленной базы эталонов, методом логического перебора и сопоставления пикселей анализируемого участка с базой эталонных образцов. На сегодняшний день одна из проблем лесного хозяйства – отсутствие достоверной и всесторонней информации о лесах. Кроме того, большая часть лесных ресурсов страны находится в труднодоступных территориях, что подталкивает к поиску новых методов и способов получения актуальной информации о лесных ресурсах. Одним из способов получения данных о лесах является способ актуализации данных предыдущего лесоустройства, не учитывающий изменений, происходящих на территории лесного фонда. Другим способом является глазомерно-измерительная таксация, результаты которой, несомненно, точнее, но вместе с тем их получение связано с большими трудозатратами и дорогостоящим процессом сбора данных. Альтернативным способом может стать предлагаемая методика.

**Ключевые слова:** данные ДЗЗ, аллометрические зависимости, распознавание образов, спутниковые изображения, таксационные характеристики

## TECHNIQUE FOR PROCESSING DATA OF EARTH REMOTE SENSING WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND ALLOMETRIC CORRELATIONS FOR DEFINITION OF FOREST STANDS INDICATORS

Mikhaylova A.A., Vagizov M.R.

St. Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, e-mail: nurachka88@rambler.ru, bars-tatarin@yandex.ru

This article discusses the technique for determining the main forest characteristics of stands, such as a stock, average diameter and height of the stand based on the data of remote sensing and allometric rules using software. Modern technologies of geospatial data processing allow using images of ultrahigh and high spatial resolution for analysis of woody vegetation. The data obtained from the research on the density of forest plantations make it possible to obtain data on the characteristics of the analyzed stand on the basis of widely known allometric regularities. One of the approaches to solving this problem is the application of a number of technologies with the use of computer processing of images obtained from both unmanned aerial vehicles and images of open cartographic services. The basis for determining the number of trees in the picture is the technology of pattern recognition using the base of the prepared standards, using logic iterate and mapping the pixels of the analyzed area with the basis of reference samples. At present, one of the problems of forestry is the lack of reliable and comprehensive information about forests. In addition, a large part of forest resources of the country located in hardly accessible areas, which is pushing to find new methods and ways of obtaining relevant information about the forest resources. One way of obtaining data on forests is a method of updating data of previous forest inventory which does not take into account changes occurring in the territory of the forest fund. Another way is using visual and measuring inventory, the results of which are doubtless more precisely, however, it requires a lot of labour input and expensive data collection process. The proposed technique can be an alternative way for solving this problem.

**Keywords:** remote sensing data, allometric correlations, pattern recognition, satellite images, taxation characteristics

Развитие науки и техники позволяет решать задачи, стоящие перед лесной отраслью, более эффективно, появляется возможность разрабатывать новые методы лесоинвентаризации, основанные на дистанционных методах зондирования земной поверхности.

Вторым немаловажным аспектом в этом направлении является использование различных информационных технологий в лесной отрасли. Перспективными выглядят технологии анализа данных при помощи заранее разработанных программных алгоритмов.

Аэрофотосъёмка уже давно является неотъемлемой частью лесного хозяйства в целом, так и лесной таксации в частности. За последние 30 лет многие отечественные ученые рассматривали возможность применения аэроснимков для определения основных таксационных показателей. Развитие техники в области дистанционных методов ознаменовало появление новых средств дистанционного зондирования, таких как лидарная съёмка [1, 2] беспилотных летательных аппаратов [3–5], комбинирование различных средств съёмок, так и совершенствование существующих, а также развитие программного обеспечения для их обработки (увеличение числа спектральных каналов, увеличение пространственного разрешения и т.д.). Важным шагом стал переход на цифровую съёмку.

Одной из важных задач лесного хозяйства является определение количественных характеристик лесного фонда. Применение методов дистанционного зондирования Земли в совокупности с разработкой новых методов определения таксационных характеристик насаждения позволит решать данную задачу более эффективно. С программами анализа геопространственных данных на изображениях сокращается время обработки и получения качественной информации о лесном фонде.

Целью работы являлось исследование и разработка методики получения данных о густоте лесных насаждений по снимкам сверхвысокого разрешения, полученных при помощи беспилотных летательных аппаратов, с последующим определением основных таксационных характеристик.

### Материалы и методы исследования

Для апробации методики в качестве объекта исследования были выбраны кварталы в Лисинском учебно-опытном лесничестве Ленинградской области.

Одной из наиболее легко определяемых по снимкам характеристик насаждения является его густота, на основании которой появляется возможность определить остальные показатели древостоя. В биологии давно известны различные аллометрические зависимости, связывающие размеры растений от их количества на единице площади. Наиболее известное из них правило – 3/2, открытое Уодой с коллегами [6, 7] и имеющее следующий вид:

$$V = B * N^{1.5}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем одного растения на 1 га, м<sup>3</sup>/га;  $B$  – множитель, безразмерная величина;  $N$  – число растений на 1 га, шт.

Также представляют интерес аллометрические закономерности, близкие правилу Уоды, но описывающие зависимость между густотой насаждения и средними диаметром и высотой (правило Рейнеке (2) и Хильми (3) соответственно).

$$N = e^A * d_m^{-1.605}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество стволов на 1 га, шт;  $A$  – множитель, безразмерная величина;  $d_m$  – средний диаметр на высоте груди, см.

$$h = a * N^{0.5}, \quad (3)$$

где  $h$  – высота, м;  $a$  – множитель, безразмерная величина;  $N$  – число стволов на 1 га, шт.

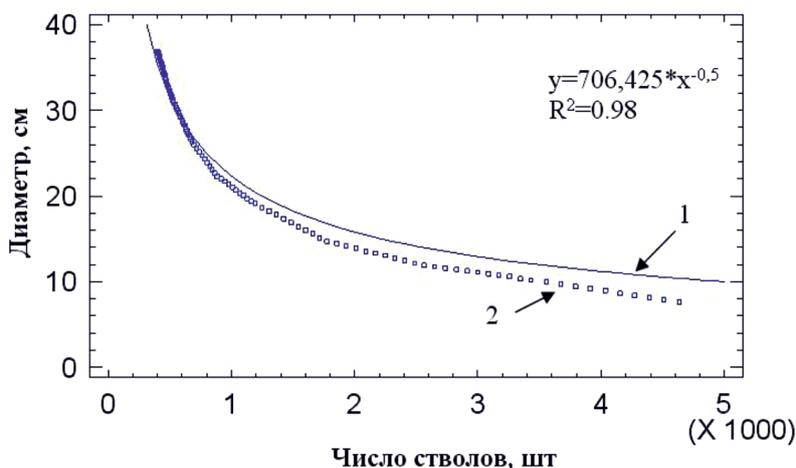


Рис. 1. Зависимость среднего диаметра насаждений сосны 1 класса бонитета от числа стволов на 1 га (1 – аппроксимирующая кривая, 2 – теоретические значения)

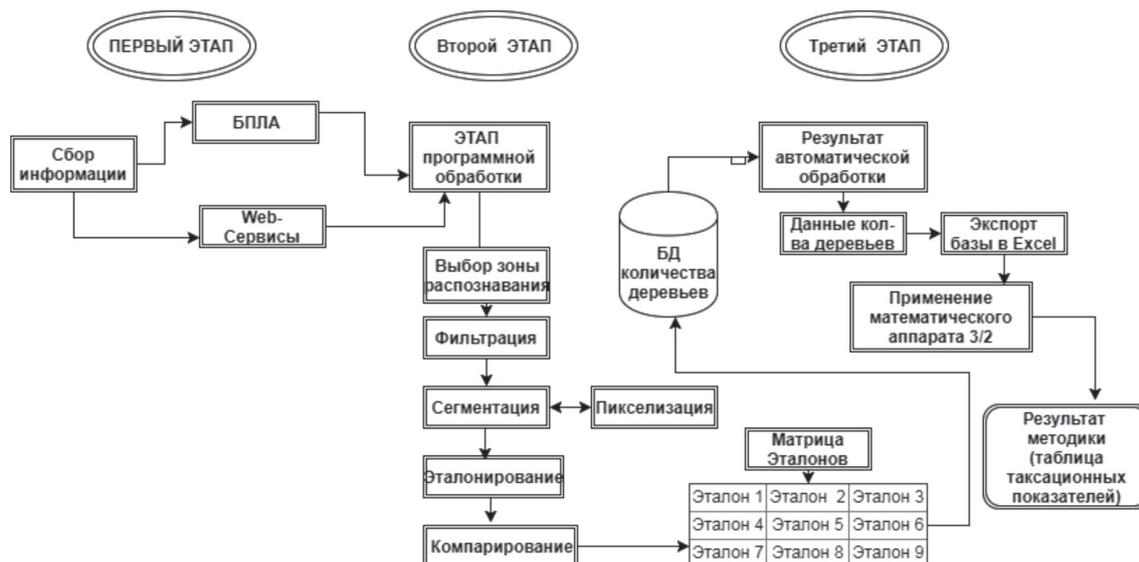


Рис. 2. Полная схема этапов методики, основанная на густоте деревьев

В рамках исследования было необходимо уточнить параметры каждого из аллометрических уравнений. С этой целью в программе StatGraphics был проведён регрессионный анализ таблиц хода роста нормальных сосновых, еловых и берёзовых насаждений для Северо-Запада европейской части России и были построены графики зависимостей основных таксационных показателей от густоты насаждений (рис. 1).

Аналогичные графики были построены для каждой таблицы хода роста, каждой породы и класса бонитета. В результате были получены значения параметров аллометрических уравнений, представленные в ранее опубликованных статьях [4].

Поскольку применение описанных выше аллометрических закономерностей основано на использовании данных о количестве деревьев на единицу площади, необходимым условием являлось определение данного параметра по аэрофотоснимкам.

Технология обработки изображения заключалась в применении специальной методики, основная часть которой была построена, опираясь на широко известную теорию распознавания образов. Так, в задаче определения числа деревьев на единице площади требуется первоначально идентифицировать каждое дерево на анализируемом снимке, для этого предварительно требуется произвести предобработку исследуемого снимка. Полный цикл методики анализа данных представлен на схеме. Он состоит из трёх основных этапов, начиная с получения данных анализируемой мест-

ности, заканчивая результатом (таблицей таксационных показателей).

Согласно представленной схеме (рис. 2) после выбора качественного изображения для анализа данных, следующим этапом действий становится загрузка изображения в систему распознавания образов, основная технология анализа данных заключается в переборе цветных пикселей анализируемого изображения и заготовленной базы эталонов. Стоит отметить, что перед началом процедуры анализа требуется произвести заготовку базы эталонных образцов класса «дерево» [8]. После получения данных программной обработкой, о числе деревьев (густоты насаждений) с анализируемого снимка на единицу площади, согласно методике реализуется третий этап. Ключевым моментом на третьем этапе становится экспорт данных второго этапа и применение математического аппарата основанного на правилах, используемых в теоретической биологии и правилах 3/2 [4]. Результат третьего этапа – полученные таксационные показатели анализируемой местности. Данный подход в определении лесотаксационных показателей насаждений относится к числу дешифровочных.

Второй подход в решении данной задачи – это проведение аналогичных действий, исключая автоматическую обработку, при этом следует отметить, что расчет деревьев производится вручную, что значительно увеличивает время на обработку снимка. Результат ручной обработки при этом не менее точный, он зависит от подготовки де-

шифровщика и практического опыта. Ручной метод не требует заготовки базы эталонов и написания программы сопоставления, он применим в том случае, когда площадь анализа представляет собой небольшую территорию.

Как при автоматической обработке, так и при ручном анализе существуют ошибки обработки, они связаны со следующими особенностями.

При программной обработке не всегда база эталонов способна соотнести все деревья на изображении, перебор пикселей происходит на основе размера матрицы эталонных образцов, следовательно, технически от размера матрицы эталонов будет зависеть точное соотнесение элементов к тому или иному образу. Однако на сегодняшний день данный подход близок по своей сути к нейросетевому анализу, где подобное логическое обучение проходит так называемая нейросеть. В конечном итоге технология распознавания совершенствуется до такой степени, что точность результатов будет применима для широкомасштабного внедрения. На сегодняшний день есть большое число примеров применения дан-

ных технологий в других областях науки, где первоначально задачи анализа казались трудновыполнимы, к таким задачам можно отнести распознавание речи и анализ текста с технологией распознавания символов на изображении. Тем не менее на сегодняшний день данные задачи в большинстве случаев хорошо описаны, а результаты данных технологий давно используются во многих областях человеческой деятельности.

При ручной обработке изображений сложность дешифровки заключается в точном определении каждого дерева и выделении границ лесотаксационного выдела.

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования была разработана специализированная методика определения густоты насаждения по аэрофотоснимкам сверхвысокого разрешения Лисинского учебно-опытного лесничества Ленинградской области, полученным при помощи беспилотного летательного комплекса, и проведена автоматическая обработка материалов при помощи программного алгоритма, написанного на языке JavaScript.

Результаты определения запаса на 1 га

№ выд.	№ кв.	S, га	Состав	N1га, шт	M1га, м <sup>3</sup> /га	Mрасч, м <sup>3</sup> /га	Ошибка, %
1	116	3,1	6Е4Б + Е + Ос	600	250	284	13,5
5	116	2,7	6С2Е2Б + Ос	737	270	316	17,2
11	116	3,5	3Е3Е2С2Б + Ос	627	300	242	-19,4
15	116	1,1	8Е2Б + Ос	1051	250	249	-0,4
21	116	1,1	8С2Б + Е + Ос	619	210	236	12,5
22	116	3,8	3Е2Е3С2Б + Ос	600	300	347	-17,6
25	116	4,2	4Е2Е1С3Б + Ос	615	330	285	-13,7
29	116	1,8	7Е2С1Б + Ос + Е	690	360	307	-14,6
36	116	1,4	5С2Е3Б	472	300	355	18,3
37	116	1,9	6Е3Е1С + Ос + Б	418	370	346	-6,6
38	116	3,3	5Е1С4Б + Е	541	330	304	-7,9
39	116	3,4	4С3Е3Б + Е + Ос	433	310	324	4,6
49	116	1,0	6Е2С2Б + Ос	616	260	244	-6,1
18	123	3,1	5Е3Е2Б + С + Ос	315	300	341	13,8
21	123	1,0	5С3Е2Б	433	290	324	11,8
27	123	1,7	4С3Е3Б	571	280	282	0,9
29	123	2,2	10С + Е + Б	562	260	285	9,5
52	123	1,4	8С2Е + Б + Ос	433	290	282	-2,6
53	123	4,3	7С3Е + Б	345	330	365	10,6
6	131	3,0	6С2Е2Б	571	260	282	8,6
9	131	3,7	8С1Е1Б	433	290	324	11,8
13	131	4,0	7С3Б	632	210	184	-12,2
2	132	1,2	6С2Е2Б	433	280	324	15,8
3	132	2,5	5Е1С4Б	700	290	267	-7,9
23	132	2,9	4Е3С3Б + Ос	518	270	266	-1,4
24	132	1,9	7С3Б + Е	420	260	287	10,3
25	132	1,5	4С3Е3Б + С	573	220	242	9,8

Как видно из таблицы, в большинстве случаев расхождения результатов определения запаса с истинными значениями были невелики. Хотя существовали отклонения, которые могли быть вызваны расхождениями в определении преобладающей породы, определении параметров аллометрических уравнений по таблицам хода роста модальных насаждений. Поэтому необходимо было уточнить параметры данных уравнений на таблицах хода роста нормальных насаждений с учетом теоретических степеней.

Для проверки данных и статистического контроля была определена систематическая ошибка, которая составила 3,2%, что является допустимым значением при определении лесотаксационных показателей при нормативе не более 5%. Общий запас на единицу площади по разработанному методу определяется наиболее точно. Отклонения оказались невелики и составляли от 1 до 53 м<sup>3</sup>/га или от 0,4 до 18,3%. Отклонения не превышают нормативов точности определения таксационных показателей для дешифровочного способа таксации лесов, установленных лесоустроительной инструкцией 2012 г.

В результате обработки снимка двумя способами (ручным и автоматическим) (24 выдел 123 квартала Лисинского учебно-опытного лесничества), были получены данные о густоте насаждения, которые впоследствии были использованы для расчёта запаса, средних диаметра и высот по аллометрическим закономерностям.

Апробация полученной методики проводилась по данным таблиц хода роста [4] по Ленинградской области для основных лесобразующих пород, а также данных пробных площадей Лисинского учебно-опытного лесничества (СПБГЛТУ им. С.М. Кирова) и Лодейнопольского лесничества Ленинградской области (ЛОГКУ «Леноблес»). Первое применение разработанной методики дало положительный результат, при этом следует отметить, что требуется дальнейшее развитие данной методики с целью выявления возможности применения на таких объектах, как сложные по составу многоярусные насаждения. Необходимо учитывать возможность совершенствования алгоритмов анализа компьютерной обработки снимков на основе распознавания образов. Дальнейшее развитие метода предполагает комбинирование ряда технологий, которые позволят уточнить необходимые данные лесных насаждений. Для более точного определения таксацион-

ных показателей, особенно на таких объектах как смешанные по составу древостои естественного происхождения с высокой сомкнутостью древесного полога, дополнительно требуются данные лидарной съёмки. При получении дополнительных данных увеличится точность получения материалов ДЗЗ и снизится ошибка в определении запаса насаждений.

### Заключение

Леса, произрастающие на территории Российской Федерации, составляют 20% от общего количества лесных ресурсов планеты. Вследствие огромной значимости данного вида ресурсов, а также обширной территории нашей страны, труднодоступности участков, трудоёмкости, а также больших затрат из-за необходимости обследования обширных территорий возникает необходимость разработки новых методов лесоинвентаризации. Рассмотренная в данной статье, методика определения таксационных показателей древостоев может стать альтернативой для метода актуализации данных лесоустройства, поскольку позволяет ускорить процесс таксации насаждений и повысить ее объективность, достоверность и точность за счет более полного использования информации со снимков. Но в то же время на данный момент существует ряд ограничений для её применения. Так, пока нет возможности применить данный метод для определения таксационных характеристик многоярусных насаждений, поскольку невозможно учесть деревья, расположенные под пологом основного яруса.

Но вместе с тем первое применение данного метода дало обнадеживающие результаты, в будущем планируется его совершенствование и всесторонняя проверка на более обширном материале.

### Список литературы

1. Данилин И.М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэросъёмки лесов / И.М. Данилин, Е.М. Медведев // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2008. – № 1. – С. 15–23. DOI: 10.17238/issn0536-1036.
2. Данилин А.И. Некоторые результаты научно-исследовательского проекта по использованию лазерной и цифровой аэро- и космической съёмки при таксации леса / А.И. Данилин и др. // Лесная таксация и лесоустройство. – 2013. – № 1 (49). – С. 26–33.
3. Алексеев А.С. Анализ производительности съёмки участков лесного фонда с помощью беспилотного летательного аппарата Storsamp (на примере учебно-опытного лесничества Ленинградской области) / А.С. Алексеев, А.А. Никифоров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2013. – Вып. 205. – С. 6–15.
4. Алексеев А.С. Новый метод определения таксационных характеристик насаждений по снимкам сверхвысокого

разрешения с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) / А.С. Алексеев, А.А. Никифоров, А.А. Михайлова, М.Р. Вагизов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы научно-технической конференции / Под ред. В.М. Гедьо. – СПб., 2016. – С. 17–20.

5. Сечин А.Ю. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования / А.Ю. Сечин, М.А. Дракин, А.С. Киселева. – 2011. URL: <http://www.racurs.ru/?page=699> (дата обращения: 20.03.2018).

6. Yoda K., Kira T., Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants, IX. Further analysis of competitive interactions between adjacent individuals // Osaka City University: Journal of the Institute of Polytechnics. – 1957. – Vol. 8. – P. 161–178.

7. Yoda K., Kira T., Ogawa H., Hozumi K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants, XI) // Osaka City University: Journal of the Institute of Polytechnics. – 1963. – Vol. 14. – P. 107–129.

8. Вагизов М.Р. Применение интерактивного картографического сервиса для определения числа деревьев программно-техническим методом / М.Р. Вагизов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 50–58.

### References

1. Danilin I.M., Medvedev E.M. Some results of an international project to investigate the possibilities of laser, radar and digital aerial photography [Nekotorye rezul'taty mezhdunarodnogo proekta po issledovaniyu vozmozhnostei lazernoi, radarnoi i tsifrovoi aereo-s'emki lesov]. IVUZ Lesnoi zhurnal – IVUZ «Forest Journal», 2008, no. 1, pp. 15–23. DOI: 10.17238/issn0536-1036.

2. Danilin A.I. Some results of the research project on the use of laser and digital aerial and space imagery in the forest taxation. [Nekotorye rezul'taty nauchno-issledovatel'skogo proekta po ispol'zovaniyu lazernoi i tsifrovoi aereo- i kosmicheskoi s'emki pri taksatsii lesa.]. Lesnaia taksatsiia i lesoustroistvo – Forest taxation and forest inventory, 2013, no. 1, pp. 26–33.

3. Alekseev A.S., Nikiforov A.A. Analysis of the performance of surveying forest sites with the help of a Cropcamp unmanned aerial vehicle (exemplified by the experimental and experimental forestry of the Leningrad Region) [Analiz proizvoditel'nosti s'emki uchastkov lesnogo fonda s pomoshch'iu bespilotnogo letatel'nogo apparata Kropkam (na primere uchebno-opyt'nogo lesnichestva Leningradskoi oblasti)]. Izvestiia Lesotekhnicheskoi akademii – Proceedings of the Forestry Academy, 2013, no. 205, pp. 6–15.

4. Alekseev A.S., Nikiforov A.A., Vagizov M.R., Mikhailova A.A. Novyi metod opredeleniia taksatsionnykh kharakteristik nasazhdenii po snimkam sverkh vysokogo razresheniia s bespilotnogo letatel'nogo apparata (BPLA) [A new method for determining the taxation characteristics of plantations from high resolution images from an unmanned aerial vehicle (UAV)]. Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (g. Sankt-Peterburg, 13–15 apreliia 2016 g.) [Proceedings of Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the scientific and technical conference (St. Petersburg, April 13-15, 2016)], SPBGLTU, SPBGLTU, 2016, vol. 1, pp. 17–20.

5. Sechin A.Iu., Drakin M.A., Kiseleva A.S. Bespilotnye letatel'nye apparaty: primenenie v tseliakh aérofotos'emki dlia kartografirovaniia [Unmanned aerial vehicles: aerial photography applications for mapping]. Available at: <http://www.racurs.ru/?page=699> (accessed 20.03.2018).

6. Yoda K., Kira T., Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants, IX. Further analysis of competitive interactions between adjacent individuals. Journal of the Institute of Polytechnics, 1957, no. 8, pp. 161–178.

7. Yoda K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants, XI). Osaka City University: Journal of the Institute of Polytechnics, 1963, no. 14, pp. 107–129.

8. Vagizov M.R. Application of an interactive mapping service for determining the number of trees by a software-technical method [Primenenie interaktivnogo kartograficheskogo servisa dlia opredeleniia chisla derev'ev programmno-tekhnicheskim metodom]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia – The successes of modern natural science, 2016, no. 3, pp. 50–58.