

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ БЕСПИЛОТНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ В МОНИТОРИНГЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Александра Александровна Пристанскова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент кафедры экологии и природопользования, тел. (953)774-98-58, e-mail: dontme61@gmail.com

Станислав Андреевич Арбузов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (923)188-42-49

Дмитрий Сергеевич Дубовик

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, тел. (913)959-16-79, e-mail: dubovik.nsk@gmail.com

Вячеслав Вениаминович Тараканов

ЗСО ИЛ СО РАН - филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, 630082, Россия, г. Новосибирск, ул. Жуковского, 100/1, доктор сельскохозяйственных наук, директор, тел. (383)227-33-30, e-mail: tarh012@mail.ru

Изучение географических культур позволяет выявить особенности их популяционно-географических отличий в определенных условиях окружающей среды. Для этого необходимо производить мониторинг и отслеживать состояние древесных насаждений. В настоящей работе рассматриваются возможности применения данных беспилотной аэрофотосъемки в мониторинге географических культур сосны обыкновенной, в частности возможности оценки высот в условиях сильной загущенности насаждений. Сравняются различные подходы в определении высот деревьев. Полученные погрешности определения высот предложенным подходом сопоставимы с традиционными методами измерения и не превышает установленных нормативов для таксации.

Ключевые слова: географические культуры, мониторинг, беспилотная аэрофотосъемка

USE OF UNMANNED AERO PHOTOGRAPHY DATA IN MONITORING OF PINE GEOGRAPHIC CULTURES

Alexandra A. Pristanskova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, Department of Ecology and Environmental Management, phone: (953)774-98-58, e-mail: dontme61@gmail.com

Stanislav A. Arbuzov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (923)188-42-49

Dmitry S. Dubovik

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Management, phone: (923)188-42-49, e-mail: dubovik.nsk@gmail.com

Vyacheslav V. Tarakanov

West Siberian Branch of V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS – Branch of the Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» 100/1, Zhukovskiy St., Novosibirsk, 630082, Russia, D. Sc., Director, phone: (383)227-33-30, e-mail: tarh012@mail.ru

The study of geographical cultures makes it possible to identify the features of their population and geographical differences in certain environmental conditions. For this, it is necessary to monitor and track the condition of tree plantations. In this paper, we consider the possibilities of using unmanned aerial photography data in monitoring geographical crops of Scots pine, in particular, the possibility of assessing heights in conditions of strong thickening of stands. Various approaches to determining the heights of trees are compared. The obtained errors in determining heights by the proposed approach are comparable with traditional measurement methods and do not exceed the established standards for taxation.

Keywords: geographical cultures, monitoring, unmanned aerial photography

Введение

Одной из самых значимых лесообразующих пород России и самой значимой по своему хозяйственному значению породой Сибири является сосна обыкновенная [1, 2, 3].

В России созданы большие объемы лесных генетико-селекционных объектов, предназначенных для сохранения и рационального использования генофондов основных лесообразующих видов. Среди них наиболее сложны для изучения изменчивости таксационных показателей географические культуры, вступившие в третий класс возраста и отличающиеся повышенной полнотой, что затрудняет измерение высоты деревьев с помощью высотомеров. В настоящее время эта проблема может быть решена с применением таких средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), как аэрофотосъемка или воздушное лазерное сканирование. Их использование позволяет оценивать высоту дерева, ширину кроны, сомкнутость полога, густоту и другие таксационные показатели с необходимой оперативностью, что позволяет организовать состояния лесных генетико-селекционных объектов.

Основной целью настоящей работы является проверка возможностей использования методов беспилотной аэрофотосъемки для мониторинга географических культур сосны обыкновенной.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в вегетационные периоды 2017–2020 г в Сузунском лесничестве Новосибирской области. Объект – географические культуры

сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. – размещается на площади около 15,4 га в окружении сосняков разнотравных 1 класса бонитета. Культуры были заложены весной 1976 г. по методике [4]. Размещение семян при посадке – 2,5*0,75 м (5,3 тыс.шт./га). На более чем 100 делянках опыта представлено 37 происхождений сосны («климатипов»), размещенных в 3-х пространственных блоках/повторностях.

В настоящем сообщении приводятся материалы беспилотной аэрофотосъемки 2019 года юго-западной части площади, включающей 20 делянок, относящихся к 20 географическим происхождениям, распределенным между двумя повторностями опыта.

Аэрофотосъемка выполнялась при помощи беспилотного воздушного судна (БВС) мультироторного типа DJI Phantom 4. Съемка выполнялась с высоты 70 метров. Во время съемки наблюдался ветер от 0 до 10м/с, что отрицательно сказывается на формировании модели и приводит к ошибкам измерения высотных отметок. Обработка выполнялась в программном продукте Agisoft Metashape. В результате обработки получена цифровая модель поверхности в виде облака точек и в виде матрицы высот, цифровая модель рельефа (в результате фильтрации облака точек) и ортофотоплан.

Для оценки высот деревьев параллельно были применены два подхода: 1) автоматическое вычисление высоты с помощью определения локальных максимумов на модели поверхности древесного полога СНМ (англ. canopy height model), полученной в результате автоматизированной фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки ; 2) визуальное стереоскопическое измерение. На каждой делянке было измерено от 24 до 188 деревьев визуально и от 30 до 110 автоматически.

СНМ является по сути разностью между цифровой моделью поверхности и ЦМР.

ЦМР была получена путем фильтрации облака точек, полученного при автоматизированной фотограмметрической обработке материалов аэрофотосъемки (вариант А). Далее, для сравнения была осуществлена попытка вручную опознать участки с открытой поверхностью земли и выбрать точки из облака точек вручную, а также использовать точки, опознанные по периметру насаждений визуально (вариант Б). Третий вариант модели рельефа был построен на основе небольшого числа точек, принадлежащих рельефу, полученных в результате стереоскопических наблюдений оператором (вариант В). Все построенные ЦМР не описывают рельеф местности с достаточной детальностью в виду невозможности выполнить измерения отметок поверхности земли на большей части съемочного участка вследствие высокой плотности произрастания насаждений. В 2020 году было выполнено прореживание и ЦМР будет уточняться по результатам предстоящей новой аэрофотосъемки и наземными инструментальными методами.

Высоты деревьев рассчитывались с использованием всех трех моделей рельефа для измерений, выполненных визуально, первых двух вариантов – для ав-

томатических измерений т.к. площадь, в пределах которой были выполнены автоматизированные измерения в несколько раз превышает участок, на котором выполнялись визуальные стереоскопические измерения (рис. 1).

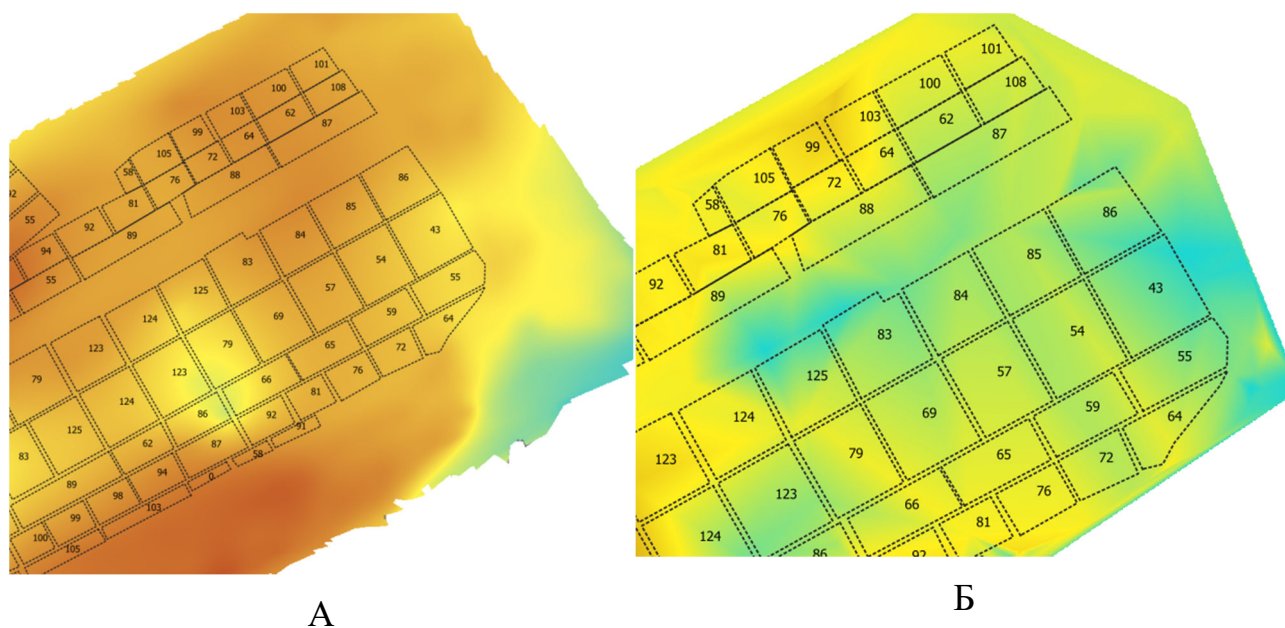


Рис. 1. Модели рельефа:

А – построенная на основе автоматической фильтрации автоматически рассчитанного облака точек; Б – построенная на основе визуального выделения точек, принадлежащих рельефу (из автоматически рассчитанного облака точек) и точек, полученных в результате визуальных измерений.

Часть деревьев не попала однозначно в границы конкретных делянок (географическое происхождение в пределах повторности его размещения), часть имела явные ошибки в расчетах высоты. Данные были отфильтрованы: были исключены деревья, ниже 16 метров (измерений под пологом не проводилось, а его высоты в пределах измеряемых происхождений выше 18 метров); были исключены деревья, не отнесенные однозначно к конкретным делянкам.

Визуальные стереоскопические измерения выполнялись в программном продукте Photomod; анализ векторных данных в QGIS. В качестве эталонных для сравнения используются таксационные данные, полученные в 2020 году на основе измерения модельных деревьев (по 10 в каждом географическом происхождении, в каждой повторности размещения, кроме первой).

Результаты исследования

Ошибки в определении высот, даже средней высоты полога, сильно зависят от используемой модели рельефа (рис. 2, табл. 1).

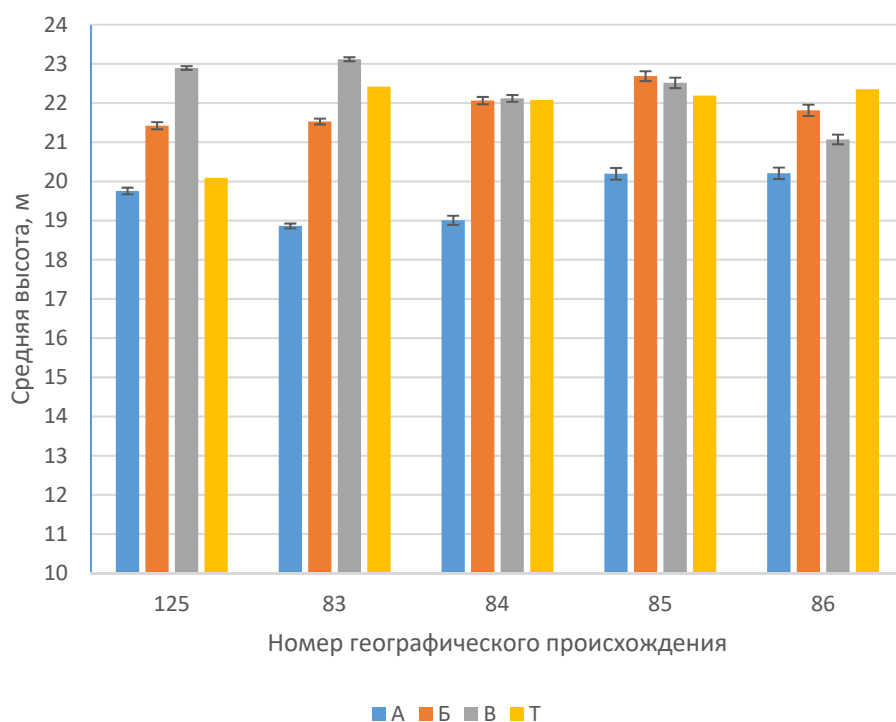


Рис. 2. Средние высоты деревьев, вычисленные во второй повторности как разность высот верхней части кроны, измеренных визуальным стереоскопическим методом и высот в соответствующих точках, вычисленных по различным моделям рельефа:

А – построенной на основе автоматической фильтрации автоматически построенного облака точек; Б – построенной на основе точек, полученных в результате визуального выделения точек, принадлежащих рельефу из автоматически построенного облака точек и точек рельефа, полученных визуальным стереоскопическим методом; В – построенной только на основе точек, полученных визуальным стереоскопическим методом по периметру насаждения; Т – таксационные данные, на основе замера модельных деревьев. Линии погрешностей отображают значение стандартной ошибки среднего значения.

Таблица 1

Расхождения, между средними значениями высот, полученными визуальным стереоскопическим методом с использованием различных моделей рельефа и таксационными данными

Географическая повторность	Разница между таксационными и вычисленными средними высотами (модуль), м		
	А	Б	В
125	0,34	1,33	2,80
83	3,55	0,89	0,70
84	3,07	0,02	0,04
85	1,99	0,50	0,33
86	2,14	0,54	1,28
Среднее	2,22	0,65	1,03

Все три модели рельефа получены на основе одних и тех-же снимков. В связи с высокой загущенностью насаждений на момент съемки и, соответственно, отсутствием возможности как визуального, так и автоматизированного измерения высот поверхности земли в центральных частях насаждения, полученные результаты являются недостаточно подробными: возможно наличие неучтенных систематических ошибок за счет локальных повышений и понижений в центральных загущенных частях насаждений. Особенно это актуально для модели рельефа, полученной только на основе визуальных измерений по периметру насаждения.

При этом, можно предположить, что модель рельефа, построенная по автоматизированным измерениям в целом, завышает высоту рельефа по сравнению с визуальными измерениями, видимо за счет попадания при фильтрации в класс поверхности земли подроста, подлеска, травяного покрова.

В табл. 2 приведены результаты однофакторного дисперсионного анализа влияния географического происхождения на среднюю высоту древостоя.

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа влияния географического происхождения на среднюю высоту древостоя, вычисленную с использованием модели рельефа В.

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	228,88	4,00	57,22	75,74	$5,5 \times 10^{-48}$	2,39
Внутри групп	308,23	408,00	0,76			
Итого	537,11	412,00				

Видно, что разницы высот между разными географическими происхождениями достоверно отличаются, однако эти отличия могут также быть связаны и с ошибками, связанными с недостаточной подробностью модели рельефа, в том случае, если делянки целиком попадают на неучтенные моделью неровности. Поэтому, с точки зрения развития различных климатипов сосны в конкретных условиях полученные данные использовать на данном этапе исследования не удалось.

Использование модели рельефа, полученной только по точкам, измеренным визуально корректно, видимо только при вычислении высот деревьев, расположенных в наиболее близко расположенных блоках – 86, 85 и 84 во второй повторности; 55, 64, 76 – в первой повторности. Остальные данные по данной модели следует учитывать с осторожностью.

Автоматически были получены высоты чуть менее 6 тысяч деревьев в пределах 31 происхождения в основном в первой и второй повторностях размещения. В табл. 3 приводятся расхождения с таксационными данными.

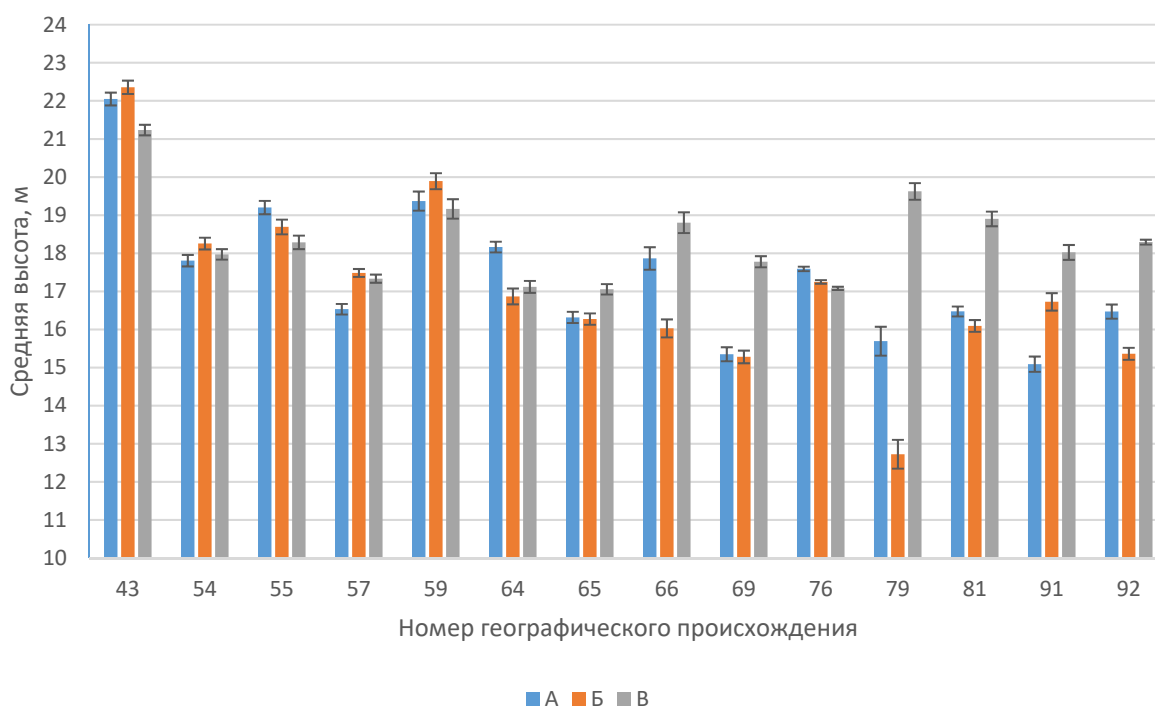


Рис. 3. Средние высоты деревьев, вычисленные в первой повторности как разность высот верхней части крон (ВЧК), измеренных визуальным стереоскопическим методом и высот в соответствующих точках, вычисленных по различным моделям рельефа:

А – построенной на основе автоматической фильтрации автоматически построенного облака точек; Б – построенной на основе точек, полученных в результате визуального выделения точек, принадлежащих рельефу из автоматически построенного облака точек и точек рельефа, полученных визуальным стереоскопическим методом; В – построенной только на основе точек, полученных визуальным стереоскопическим методом по периметру насаждения. Линии погрешностей отображают значение стандартной ошибки среднего значения

Среднее значение ошибки при использовании автоматизированного подхода к поиску деревьев и определению их высот составляет соответственно 1,5 и 1,26 метра при использовании автоматизировано построенной и поправленной с помощью ручной фильтрации и добавления визуальных измерений моделей рельефа.

В результате визуальных измерений ошибки составили от 0,65 до 2,2 метров, в зависимости от использованной модели рельефа.

При сравнении визуального и автоматизированных подходов и оценке применимости метода в целом следует учесть также следующие условия.

Визуально стереоскопически определенные точки, принадлежащие поверхности земли, измерены вблизи тех же участков, в которых осуществлялись и визуальные измерения ВЧК, это объясняет существенно большее снижение ошибки при использовании матрицы Б для визуальных измерений, по сравнению с автоматизированными.

Сравнение средних высот древостоя в делянках, таксационных
и вычисленных на основе автоматического нахождения
верхней части крон (ВЧК) и разных моделей рельефа

Географическое происхождение	Н _{такс.} , м	Модель рельефа А		Модель рельефа Б	
		Н	ΔН	Н	ΔН
57	22,9	24,90	-2	20,82	2,08
69	21,0	22,28	-1,28	19,84	1,16
79	23,0	20,96	2,04	19,02	3,98
83	22,4	20,20	2,2	22,69	-0,29
84	22,1	19,34	2,76	22,23	-0,13
85	22,2	20,83	1,37	22,92	-0,72
86	22,4	21,90	0,5	23,44	-1,04
123	20,8	19,96	0,84	19,38	1,42
124	19,9	18,97	0,93	18,11	1,79
125	20,1	19,58	0,52	20,21	-0,11
55	20,4	18,30	2,1	19,22	1,18
Среднее	21,56	20,66	0,91±0,443	20,72	0,85±0,447
<i>t</i>			2.048		1.897
<i>P</i>			>0.05		>0.10

За один год, прошедший между аэрофотосъемкой и измерением модельных деревьев их прирост, составил около 40 – 45 см. Если учесть это как систематическую ошибку, то разницы между таксационными и полученными на основе материалов беспилотной аэрофотосъемки данными уменьшатся для автоматизированного измерения до 1,25 и 1,22 метров (для матриц А и Б соответственно); для визуального подхода ошибки составят 1,84; 0,73 и 1,27 метра соответственно для матриц А, Б и В.

При визуальном стереоскопическом измерении высот ВЧК выбирались наиболее хорошо различимые деревья, то есть наиболее высокие. Это объясняет некоторое завышение средней высоты полога относительно таксационных данных при использовании визуального подхода.

Согласно лесоустроительной инструкции [5] допустимые случайные ошибки определения средней высоты преобладающей породы лесотаксационного выдела составляют от 8 % при глазомерно-измерительной таксации до 15 % при дешифрировании, что для высоты порядка 20 метров составляет от 1,6 до 3 метров.

Выводы

Одно из ключевых условий, влияющих на ошибку в определении высот деревьев изложенным методом является качество и подробность модели рельефа.

Погрешность определения высоты описанными в настоящем исследовании подходами сопоставима с традиционными методами измерения и не превышает установленных нормативов для таксации.

Для использования данного подхода в научных целях – для исключения ошибок при сопоставлении высот географических происхождений, требуется построение более подробной модели рельефа, которое будет выполнено по результатам очередной съемки летом 2021 года.

Наиболее рациональным является использование сочетания описанных визуального и автоматизированного подходов.

Заключение

В результате выполненной в течение одного полевого дня беспилотной аэрофотосъемки были получены данные о состоянии питомника, общей площадью около 16 га. Высота деревьев является одним из самых трудно оцениваемых и в тоже время важных показателей в мониторинге древесных насаждений. Помимо высоты как древесного полога в пределах делянок, так и каждого отдельного дерева полученные материалы позволяют оценивать такие параметры, как диаметр, форма кроны, вести сплошной пересчет, в том числе находить больные и усыхающие деревья, оценивать сомкнутость полога, вести контроль хозяйственных мероприятий. Архивы материалов аэрофотосъемки за разные периоды времени остаются первичными документами, позволяющими извлекать и сравнивать новые данные по мере необходимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов В.Г. Леса Западной Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1961.– 256 с.
2. Морозов Г.Ф. Избранные труды. Т. 1. - М.: Лесная промышленность, 1970. - 560 с.
3. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная (изменчивость, внутривидовая систематика и селекция). - М.: Наука, 1964. - 189 с.
4. Изучение имеющихся и создание новых географических культур. - Пушкино: Госкомлес СССР; ВНИИЛМ, 1972. - 52 с.
5. Приказ министерства природных ресурсов и экологии российской федерации от 29 марта 2018 года № 122 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции».

© А. А. Пристанскова, С. А. Арбузов, Д. С. Дубовик, В. В. Тараканов, 2021