

УДК 630\*5

## НОВАЯ МЕТОДИКА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ

<sup>1</sup>Хлюстов В.К., <sup>1,2</sup>Ганихин А.М., <sup>2</sup>Хлюстов Д.В.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА  
имени К.А. Тимирязева», Москва, e-mail: vitakhlustov@mail.ru;<sup>2</sup>Филиал ФГБУ «Рослесинфорг» «Центрлеспроект», Ивантеевка,  
e-mail: ganikhin.timacad@mail.ru, dimi\_work@mail.ru

Предложены методические решения проведения государственной инвентаризации лесов, основанной на статистически обоснованной многомерной классификации лесничеств Костромской области по 32 ресурсно-экологическим показателям с выделением шести контуров типичных лесных районов. На примере отдельного лесного района показан алгоритм формирования выборочной совокупности пробных площадей с наличием числа деревьев в соответствии с «Общесоюзными нормативами по таксации лесов». Для определения необходимого числа деревьев на пробных площадях рекомендовано использовать авторскую информационно-справочную систему лесотаксационных нормативов (ИСС ЛТН, авторское свидетельство № 2011615418). Для адресной ориентации учётных единиц инвентаризации, обеспечивающих качественную репрезентативность выборки, предложено использовать природные естественно сформированные страты, дифференцированные по типам лесорастительных условий, преобладающим породам и классам возраста. Для расчёта необходимого числа пробных площадей в разрезе отдельных страт рекомендовано использовать формулу академика ВАСХНИЛ В.С. Немчинова, в полной мере отвечающую требованиям математической статистики. На примере конкретной страты показана вся методическая сторона формирования репрезентативной выборки. Надёжность соответствия средневзвешенных таксационных показателей выборочной совокупности выделов генеральной совокупности подтверждена статистически t-критерием Стьюдента на 95-процентном уровне доверительной вероятности. Для автоматизированной инвентаризации лесов методами дистанционного зондирования Земли и аналитического дешифрирования рекомендовано использование аэрофотосъёмки с БПЛА – «Геоскан 101». Фотограмметрическая обработка материалов съёмки и «сшивка» ортофотоплана выполнены в программной среде Agisoft Metashape. В результате проведения аэрофотосъёмки получены ортофотопланы сверхвысокого разрешения (10 см/пиксель) и цифровые модели высоты деревьев (ЦМВ). Сравнение результатов дешифрирования таксационных показателей древостоев: запаса, средней высоты, среднего диаметра, полноты и доли участия преобладающей породы в составе древостоя с фактическими данными, полученными на пробных площадях посредством сплошного перечёта деревьев, подтвердило достаточно высокую точность таксации древостоев по материалам ДЗЗ указанного разрешения.

**Ключевые слова:** информационно-справочная система лесотаксационных нормативов, государственная инвентаризация лесов, выборочная инвентаризация, цифровая модель растительности, аналитическое дешифрирование лесного полога

## NEW METHODOLOGY AND ANALYTICAL SYSTEM FOR REMOTE FOREST INVENTORY

<sup>1</sup>Khlyustov V.K., <sup>1,2</sup>Ganikhin A.M., <sup>2</sup>Khlyustov D.V.<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, e-mail: vitakhlustov@mail.ru;<sup>2</sup>Branch of FGBU «Roslesinforg» «Centerlesproject», Ivanteevka,  
e-mail: ganikhin.timacad@mail.ru, dimi\_work@mail.ru

Methodological solutions are proposed for conducting the state forest inventory, based on a statistically based multidimensional classification of forest areas of the Kostroma region according to 32 resource and environmental indicators, with the allocation of six contours of typical forest areas. On the example of a separate forest area, an algorithm for forming a sample set of sample areas with the presence of a quantity of trees in accordance with the «All-Union standards for forest taxation» is shown. To determine the required number of trees on the test areas, it is recommended to use the author's information and reference system of forest taxation standards (IRS FTS, copyright certificate № 2011615418). For the targeted orientation of inventory accounting units that provide representativeness of the sample, it is proposed to use strata, differentiated by types of forest growing conditions, prevailing breeds and age classes. To calculate the required number of sample areas for the individual strata, it is recommended to use the formula of Academician V.S. Nemchinov, which fully meets the requirements of mathematical statistics. On the example of a specific stratum, the entire methodological side of the formation of a representative sample is shown. The reliability of the compliance of the weighted average indicators of the samples in comparison with the indicators of the general sets is confirmed by the Student's t-test at the 95% confidence level. For automated inventory of forests by means of remote sensing of the Earth and analytical interpretation it is recommended to use aerial photography from the UAV – «Geoscan 101». Photogrammetric processing of the survey materials and creating aerial photos were performed in the software environment – «Agisoft Metashape». As a result of aerial photography, ultra-high-resolution orthophotoplanes (10 cm/pixel) and digital vegetation models (DVM) were obtained. A comparison of the results of interpretation the taxational indicators of stands: stock, average height, average diameter, completeness, and the share of the predominant species in the stand with the actual data obtained on the test areas by means of a continuous enumeration of trees confirmed a fairly high accuracy of the taxation of stands by means of remote sensing of the specified resolution.

**Keywords:** information and reference system of forest taxation standards, state forest inventory, sample inventory, digital vegetation model, analytical interpretation of forest code

С принятием Лесного кодекса 2006 г. в России стала внедряться «Государственная инвентаризация лесов» (далее ГИЛ). В наиболее развитых в лесном отношении странах выборочные методы учёта лесного фонда используются давно и весьма успешно, так как при высоком уровне частной собственности на леса получение информации иным способом затруднительно. В России повсеместно используется система сплошной инвентаризации лесов при лесоустройстве. Хотя лесоустройство и общепризнано наиболее эффективной системой оценки лесов, оно всё же является экономически затратным и периодическим (в лучшем случае через 10 лет), что не позволяет в ограниченные сроки дать оценку лесным ресурсам, эффективности проведения лесохозяйственных мероприятий на больших территориях, своевременно выявлять и прогнозировать возможные изменения в лесном фонде. Решить эту проблему призвана ГИЛ, предусматривающая сокращение сроков получения сведений для органов управления лесами в межревизионный период лесоустройства. Однако следует отметить тот факт, что при разработке методических указаний проведения ГИЛ были допущены некоторые ошибки, которые в последующем сделали выборочную инвентаризацию лесов неэффективной, а её результаты недостоверными.

Так, отличительной особенностью ГИЛ в России является проведение стратификации по материалам лесоустройства [1]. При этом логически напрашивается вопрос, а как быть в случае отсутствия таксационной базы данных лесоустройства. А такие случаи нередки в условиях с климатическими аномалиями и стихийными бедствиями (лесными пожарами, ветровалами и пр.). В методических рекомендациях по выборочной инвентаризации западных стран, имеющих меньшую площадь лесов, принято закладывать пробные площади, местоположение которых зафиксировано систематической сетью координатных точек. Однако в масштабах нашей страны такой подход несколько затруднителен ввиду недостаточного развития инфраструктуры.

По этому поводу Р.Ф. Трейфельд отмечает, что затраты на проведение ГИЛ сопоставимы с затратами на лесоустройство, а это вызывает сомнение в целесообразности внедрения выборочной инвентаризации в масштабах России. Тем более что схема организации выборочной совокупности противоречит требованиям математической

статистики, так как является направленной (дифференциация территории на доступную и труднодоступную), а не случайной. В отношении выходной документации автор указывает на избыточность информации, представленной 62 таблицами, что не согласуется с принятыми формами отчетности в Российской Федерации. Разница в подходах при стратификации с другими странами заключается в изначально разном определении её объекта, так как в России единицей учёта является лесотаксационный выдел, в то время как в других странах – отдельное дерево. Подготовительным этапом ГИЛ в России является стратификация материалов лесоустройства, в других же странах проводится так называемая постстратификация, которая подразумевает распространение результатов инвентаризации на всю генеральную совокупность площадей лесного фонда для лесного района. Также Р.Ф. Трейфельд справедливо указывает на неверную трактовку в российской методике ГИЛ термина «стратификация», так как в других странах под этим термином подразумеваются территории, имеющие общие эколого-географические признаки [2]. В соответствии же с методическими рекомендациями по проведению ГИЛ в России признаками стратификации выступают: преобладающая порода, класс возраста и класс бонитета [3].

С.К. Фарбером и Н.В. Брюхановым рассмотрены виды ошибок, возникающие при проведении ГИЛ. Авторы указывают, что наиболее пагубными являются систематические ошибки, возникающие при неправильном подборе мест закладки пробных площадей. В частности, подбираются наиболее доступные в транспортном отношении объекты. Ошибки такого рода приводят к систематическим нарушениям при оценке долей лесных формаций [4].

А.Н. Филиппчук и Б.Н. Моисеевым в 2014 г. дана оценка результатов проведения ГИЛ на примере отчёта по Калужской области. Так, ими отмечено, что количество пробных площадей должно быть рассчитано для лесного района, а не для отдельно взятого субъекта, как это указано в отчёте. Результат инвентаризации, по их мнению, следует считать недостоверным в связи с недостаточным количеством пробных площадей, а также отсутствием в отчёте важнейших статистических показателей, необходимых для проверки качества отбора респондентов выборки. Вместе с тем в отчётных данных запасы древостоев на 1 га

оказались завышенными в 2–3 раза и имели такие значения, которые никогда на территории субъекта не фиксировались [5].

В.М. Жирин и Н.В. Лукина, описывая развитие системы инвентаризации лесов в России, отмечают, что ГИЛ можно рассматривать как технически обновляемую систему рационального сочетания сплошного контурного дешифрирования данных дистанционного зондирования, а также оперативного учёта актуальных изменений площадных характеристик лесов и детальных выборочных измерений [6].

В «Методических рекомендациях по ведению государственной инвентаризации лесов» показан порядок расчёта необходимого числа пробных площадей для объектов ГИЛ. Формула расчёта дисперсии запасов содержит поправку, учитывающую вес каждого выдела относительно средней площади выдела, что в итоге приводит к занижению значений квадратов отклонений от среднеарифметической величины для выделов, площадь которых меньше площади среднего выдела, а также к завышению квадратов отклонений для выделов, площадь которых больше площади среднего выдела. Дифференциация территории на доступную и труднодоступную приводит к нарушению статистически важного условия при формировании выборки, а именно принципа случайности или принципа системности. В действующей методике предусматривается направленная выборка, которая является недопустимой, так как она не позволяет обеспечить репрезентативность (представительность) выборки. Наряду с этим в рекомендациях отсутствует информация о необходимом числе деревьев на пробной площади, что в итоге не позволяет делать заключения о достоверности определения запаса на 1 га [7].

Согласно методическим рекомендациям по проведению государственной инвентаризации лесов [8], объектом ГИЛ являются лесные районы. В этой части следует критически указать на отсутствие достоверных границ лесных районов в пределах отдельных субъектов РФ. В.К. Хлюстовым с соавторами [7] статистически доказано и обосновано районирование лесов на уровне субъектов ЦФО по комплексу ресурсно-экологических показателей (количество показателей варьирует от 29 (Владимирская и Тверская области) до 38 (Липецкая область)), характеризующих лесничества конкретного субъекта РФ.

Целью исследования предусмотрено разработать методические указания по про-

ведению государственной инвентаризации лесов с учётом требований математической статистики при формировании выборочных совокупностей выделов, характеризующих в полной мере генеральную совокупность. А для обеспечения автоматизации проведения ГИЛ было предусмотрено задействовать дистанционные методы зондирования Земли с применением беспилотных летательных аппаратов, а также авторскую информационно-справочную систему лесотаксационных нормативов (ИСС ЛТН) [9].

### Материалы и методы исследования

Предлагаемые методические указания по выборочной инвентаризации лесов дистанционными методами опираются на концептуальную схему (рис. 1).

На начальном этапе производится актуализация текущего состояния лесного фонда, подразумевающая внесение текущих изменений за период, прошедший с последнего лесоустройства. Картографируются изменения в лесном фонде, наносятся контуры рубок, горельников, ветровальников и пр.

Далее на актуальных материалах лесоустройства необходимо сформировать типические выборки. Для примера расчета необходимого количества пробных площадей была использована повыведельная база данных последнего лесоустройства, выполненного филиалом ФГБУ «Рослесинфорг» «Центрлеспроект» на территории Шарьинского лесничества Костромской области (Шарьинское лесничество составило отдельный лесной район при районировании, выполненном В.К. Хлюстовым с соавторами [7]).

Для апробации методики определения таксационных показателей древостоев дистанционными методами на территории Устьянского лесничества Архангельской области в 2017 г. был проведён сплошной перебор с картированием месторасположения деревьев на 13 пробных площадях с измерением толщины в двух направлениях – север-юг, запад-восток ( $d_{1,3}$ , см), высоты ( $h$ , м), площадей проекций крон ( $s$ , м<sup>2</sup>), протяжённости крон ( $l$ , м), а также высоты до первого живого сучка у 2600 стволов деревьев.

При решении главной методической задачи было предусмотрено получить достоверный результаты статистического соответствия данных, полученных при формировании типической выборки выделов с данными генеральной совокупности выделов.



Рис. 1. Концептуальная схема технологии выборочной инвентаризации лесов дистанционными методами зондирования Земли

Так, генеральная совокупность выделов Шарьинского лесничества Костромской области составила – 68224 ед. с общей площадью – 353356 га. Из них покрыто лесом – 57382 выдела, занимающих площадь – 339619,4 га [7]. Генеральная совокупность была дифференцирована по типам лесорастительных условий (ТЛУ), а в пределах каждого ТЛУ – по классам возраста, а в пределах классов возраста – по преобладающей породе. При организации таких выборок их общее число для лесного района составило – 76 ед.

Для демонстрации методики расчёта необходимого числа пробных площадей были сформированы выборки выделов, имеющие ТЛУ – СЗ (субори сложные мезогигрофильные) с древостоями 5-го класса возраста. В указанных типических выборках преобладающие породы представлены: дубом высокоствольным (Д), ивой древовидной (ИВД), липой (ЛП), ольхой серой (ОЛС), осинкой (ОС), берёзой (Б),

дубом низкоствольным (ДН), пихтой (П), елью (Е) и сосной (С). Данные о площади выборок, а также о количестве выделов представлены в табл. 1.

В соответствии с «Общесоюзными нормативами для таксации лесов» достижение достоверности определения таксационных показателей древостоя обеспечивается необходимым числом стволов деревьев на пробной площади, размер которой зависит от возрастной группы составляющих пород деревьев. Так, на пробных площадях перестойные древостои должны насчитывать 120–150 шт., приспевающие и спелые – 150–200 шт., средневозрастные – 250 шт., молодняки – не менее 300 шт.

Так как достаточная площадь обследования определяется только необходимым числом деревьев, то нужно обладать информацией об их наличии. Получить такие сведения можно либо в процессе натурного перечёта, либо по специально разработанным математическим моделям.



Таблица 1

Распределение выборочных совокупностей выделов V класса возраста, имеющих ТЛУ – СЗ по площади и количеству выделов

Преобладающая порода	Площадь, га	Кол-во выделов в генеральной совокупности, шт.
Сосна	712,8	142
Ель	4903,0	912
Пихта	1,1	2
Дуб низкоствольный	7,3	7
Берёза	17835,2	1847
Осина	3605,8	486
Ольха серая	98,5	39
Липа	140,4	14
Ива древовидная	10,6	3
Дуб	5,9	2
Итого	27320,6	3454

Решить такую задачу позволяет информационно-справочная система лесотаксационных нормативов (ИСС ЛТН), разработанная В.К. Хлюстовым, М.М. Устиновым и Д.В. Хлюстовым (авт. свидетельство № 2011615418 от 12.07.2011). Разработка была высоко оценена научно-техническим советом Рослесхоза, докладывалась на многочисленных форумах и научных конференциях как в России (Вологда, 2011; Казань, 2012; Новосибирск, 2013), так и за рубежом (Австрия, 2014; Финляндия, 2014) [8; 10; 11].

Входными данными в ИСС ЛТН являются: тип лесорастительных условий, класс бонитета, сомкнутость полога (с перерасчётом на относительную полноту), коэффициент состава, древесная порода, возраст элемента леса. В этом случае вся необходимая информация для рассматриваемого объекта может быть получена при формировании SQL-запроса в принятой системе управления базами данных (СУБД).

Количество стволов на 1 га позволяет определить размер средней пробной площади как отношения минимально необходимого числа деревьев к расчётному. А это, в свою очередь, нужно для определения необходимой площади обследования и расчёта конечного числа пробных площадей для объекта инвентаризации (1).

$$Scp = \frac{n_i}{N_i}, \quad (1)$$

где  $Scp$  – размер средней пробной площади, га;  $n_i$  – необходимое число стволов (шт.) для достижения точности определения запаса на 1 га в соответствии с общесоюзными нормативами для таксации древостоев (по возрастной группе);

$N_i$  – число стволов (шт./га), полученное при компьютерном моделировании по ИСС ЛТН.

Важным элементом в расчёте необходимого числа пробных площадей является применение формулы, предложенной В.С. Немчиновым (1945), использованной для целей выборочной инвентаризации лесов М.Г. Здориком (1952) и В.А. Куделей (2013) вида:

$$n = \frac{t^2 * \sigma^2 * N}{P^2 * (N - 1) + t^2 * \sigma^2} \quad (2)$$

где  $n$  – необходимое число пробных площадей;  $t$  – значение t-критерия Стьюдента (1,96) для 95-процентного уровня доверительной вероятности;

$\sigma$  – стандартное отклонение, куб.м/га;

$N$  – число выделов, составляющих генеральную совокупность, ед.;

$\pm P$  – допустимая абсолютная погрешность определения запаса, куб.м/га [11].

Чтобы достичь достоверного определения среднего значения запаса на 1 га, необходимо по формуле (2) определить число пробных площадей, имеющих среднюю площадь пробы, которая определена по формуле (1).

Итак, размер средней пробной площади для конкретной выборки и их необходимое количество позволяют путем перемножения получить площадь необходимого обследования для каждой выборки.

С целью обеспечения указанными параметрами выборочной совокупности требуемой репрезентативности нужно получить отношение площади необходимого обследования к размеру пробной площади (0,05 га), принятой в действующих методических указаниях для проведения ГИЛ.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для расчета средневзвешенных таксационных показателей выборочных совокупностей выделов в ГИС Topol-L2, имеющей в своем составе модуль СУБД, был выполнен SQL-запрос, согласно которому получены средневзвешенные таксационные показатели для сформированных типических выборок для лесного района, представленного Шарьинским лесничеством (табл. 2).

В результате моделирования таксационных показателей по ИСС ЛТН было определено среднее число стволов деревьев для конкретных выборок (табл. 3).

Определение среднего размера пробной площади для рассматриваемых выборок (табл. 4) выполнено путём расчёта отношения минимально необходимого числа стволов деревьев для возрастной группы к моделируемому по ИСС ЛТН числу стволов на 1 га.

Так, рассматриваемые выборки относятся к 5-му классу возраста, и в условиях защитных лесов древостои с преобладанием – С, Е, П, ОС, ОЛС, ИВД относятся к приспевающим, а в условиях эксплуатационных лесов к спелым.

Древостои с преобладанием в составе Б, ДН, ЛП в обоих случаях относятся к средневозрастным. Древостои с преобладанием Д в условиях защитных лесов следует отнести к средневозрастным, а в условиях эксплуатаци-

онных лесов к приспевающим, в соответствии с возрастными рубок, указанными в Приказе Рослесхоза от 09.04.2015 г. № 105 «Об установлении возрастов рубок» [12]. Однако при расчете древостои 5-го класса возраста по всем породам условно отнесены к приспевающим и спелым (соответственно минимально необходимое количество стволов деревьев на пробной площади составило – 200 шт.).

После расчёта среднего размера пробной площади переходим к расчёту их необходимого количества. Для примера возьмем типическую выборку, представленную древостоями с преобладанием соснового элемента леса (3–10 ед.), пятого класса возраста, произрастающими в ТЛУ(С<sub>3</sub>), имеющими средний класс бонитета выборки I,4 и среднюю относительную полноту 0,6 ед., сумма площадей выделов равна 712,8 га.

Необходимое количество пробных площадей, имеющих среднюю площадь пробы, определяется из условия постоянства радиуса круговой площадки размером 0,05 га. Для её расчёта по формуле (2) необходимо оперировать величиной ошибки определения среднего арифметического запаса на 1 га, которая не должна превышать ±20 % в соответствии с требованиями, установленными действующей лесоустроительной инструкцией для сочетания аналитико-измерительного дешифрирования и глазомерного методов таксации при 95-процентном уровне доверительной вероятности [13].

**Таблица 2**  
Средневзвешенные таксационные показатели для рассматриваемых выборок

Преобладающая порода	Средневзвешенный возраст древостоя, лет	Средневзвешенный класс бонитета	Средневзвешенная полнота 1-го яруса, ед.	Средневзвешенный запас 1-го яруса, куб.м/га	Средневзвешенный состав древостоя
Сосна	89,9	I,4	0,6	274,8	4.84С2.41Б1.49Е1.15ОС0.09ОЛС0.02П
Ель	91,3	II,0	0,6	278,7	5.58Е2.36Б1.21ОС0.48СЗП0.05ЛП0.01ОЛС0.01ДН
Пихта	95,5	II,6	0,6	263,6	6.03П2.52Е0.97ЛП0.48ОС
Дуб низкоствольный	50,0	III,0	0,6	122,7	4.64ДН2.45Б1.62С0.96ОЛС0.33ОС
Берёза	48,0	I,4	0,8	183,9	5.01Б2.76ОС1.42Е0.26ЛП0.24ОЛС0.17ИВД0.14С
Осина	46,9	I,2	0,8	245,7	5.44ОС2.65Б1.18Е0.27ЛП0.21ОЛС0.16С0.09ИВД
Ольха серая	46,8	I,7	0,6	133,8	6.28ОЛС2.28Б0.63ОС0.51Е0.21С0.09ИВД
Липа	49,0	I,4	0,7	243,7	4ЛП2.78Е2.01Б0.73ОС0.48ИВД
Ива древовидная	45,0	II,8	0,6	108,5	9.91ИВД0.09Б
Дуб	85,0	II,8	0,5	148,3	4.32Д2.84ОС2Б0.84ИВД

Таблица 3

Среднее число стволов на 1 га для выборочных совокупностей

Преобладающая порода	Средневзвешенный состав древостоя	Число стволов на 1 га										
		С	Е	Б	ОС	ОЛС	ЛП	ИВД	П	Д	ДН	Σ
Сосна	4.84С2.41Б1.49Е1.15ОС0.09ОЛС0.02П	163	53	58	24	3	-	-	1	-	-	302
Ель	5.58Е2.36Б1.21ОС0.48С0.3П0.05ЛП0.01ОЛС0.01ДН	19	234	70	29	0	1	-	13	-	-	366
Пихта	6.03П2.52Е0.97ЛП0.48ОС	-	87		9	-	21	-	209	-	-	326
Дуб низкоствольный	4.64ДН2.45Б1.62С0.96ОЛС0.33ОС	26		160	17	46	-	-	-	-	247	495
Берёза	5.01Б2.76ОС1.42Е0.26ЛП0.24ОЛС0.17ИВД0.14С	15	175	408	182	17	24	7	-	-	-	828
Осина	5.44ОС2.65Б1.18Е0.27ЛП0.21ОЛС0.16С0.09ИВД	16	132	185	336	14	23	3	-	-	-	709
Ольха серая	6.28ОЛС2.28Б0.63ОС0.51Е0.21С0.09ИВД	17	49	146	33	320	-	3	-	-	-	568
Липа	4ЛП2.78Е2.01Б0.73ОС0.48ИВД	-	289	139	41	-	291	16	-	-	-	778
Ива древовидная	9.91ИВД0.09Б	-	-	7	-	-	-	347	-	-	-	354
Дуб	4.32Д2.84ОС2Б0.84ИВД	-	-	57	61	-	-	10	-	74	-	203

Таблица 4

Информация о дисперсии запаса на 1 га, размере средней площади пробы, их необходимом количестве и суммарной площади обследования по каждой выборке

Преобладающая порода	Средняя площадь пробы, га	Дисперсия запаса на 1 га	Количество выделов в генеральной совокупности, шт.	Необходимое количество ПП (при допустимом отклонении по запасу ±20%), шт.	Суммарная площадь проб, га
Сосна	0,66	2558,45	142	3,2	2,12
Ель	0,55	1934,98	912	2,4	1,31
Пихта	0,61	453,72	2	0,8	0,47
Дуб низкоствольный	0,40	1688,21	7	4,5	1,82
Берёза	0,24	1346,32	1847	3,8	0,92
Осина	0,28	1860,76	486	3,0	0,84
Ольха серая	0,35	958,62	39	4,7	1,64
Липа	0,26	1571,12	14	2,3	0,59
Ива древовидная	0,56	403,42	3	1,9	1,06
Дуб	0,99	71,85	2	0,5	0,47

Генеральная совокупность выделов с преобладанием соснового элемента леса в условиях ТЛУ(С<sub>3</sub>) представлена 142 выделами. Средний арифметический запас древостоев равен 274,8 м<sup>3</sup>/га (табл. 2). Стандартное отклонение запаса от средней арифметической величины по данным генеральной совокупности (как корень квадратный из дисперсии) составляет 50,58 м<sup>3</sup>/га

(табл. 4). В соответствии с требованиями лесоустроительной инструкции допустимая ошибка определения среднего запаса (как произведение среднеарифметической величины запаса на 0,2) составляет ±54,96 м<sup>3</sup>/га. В этом случае численность площадей случайной выборки должна насчитывать 3,2 единицы, размером 0,66 га, что соответствует средней площади пробы (табл. 4):

$$n = \frac{1,96^2 * 50,58^2 * 142}{54,96^2 * (142 - 1) + 1,96^2 * 50,58^2} = 3,2 \text{ (3 ед.)} \quad (3)$$

Таблица 5

Объем работ по предлагаемой методике

Преобладающая порода	Площадь, га	Число выделов в генеральной совокупности, шт.	Дисперсия запаса на 1 га	Число ПП, шт.	Сумма площадей проб, га
Сосна	712,8	142	2558,45	42	2,12
Ель	4903	912	1934,98	26	2,12
Пихта	1,1	2	453,72	9	1,31
Дуб низкоствольный	7,3	7	1688,21	36	0,47
Берёза	17835,2	1847	1346,32	18	1,82
Осина	3605,8	486	1860,76	17	0,92
Ольха серая	98,5	39	958,62	33	0,84
Липа	140,4	14	1571,12	12	1,64
Ива древовидная	10,6	3	403,42	21	0,59
Дуб	5,9	2	71,85	9	1,06
Итого:				225	11,23

Таблица 6

Допустимые отклонения и фактические ошибки определения средневзвешенных величин коэффициента состава преобладающей породы и запаса на 1 га по предлагаемой методике

Преобладающая порода	Площадь типической выборки, га	Минимально необходимая площадь обследований, га	Допустимые отклонения по лесоустроительной инструкции 2018 г.		Ошибки определения показателей по предлагаемой методике	
			коэффициент состава преобладающей породы, ед.	запас на 1 га, куб.м ( $\pm 20\%$ )	коэффициент состава преобладающей породы, ед.	запас на 1 га, куб.м
Сосна	712,8	2,12	1,5	55,0	0	6,7
Ель	4903	1,31	1,5	55,6	0	-4,8
Пихта	1,1	0,47	1,5	52,7	0	7,9
Дуб низкоствольный	7,3	2,27	1,5	24,5	0	-1,9
Берёза	17835,2	1,15	1,5	36,8	0	-5,7
Осина	3605,8	0,84	1,5	49,0	0	9,0
Ольха серая	98,5	1,64	1,5	26,8	0	-2,8
Липа	140,4	0,74	1,5	48,7	0	11,8
Ива древовидная	10,6	1,06	1,5	21,7	0	-0,4
Дуб	5,9	0,59	1,5	29,7	0	1,2

Количество проб размером 0,05 га определяется отношением площади необходимого обследования к указанному размеру пробной площади. Площадь необходимого обследования равна 2,12 га и рассчитана перемножением числа проб, полученных по формуле (3), на среднюю площадь пробы – по формуле 1. В конечном итоге необходимое число пробных площадок постоянного радиуса площадью 0,05 га равно 42 ед. ( $2,12/0,05 = 42,4$ ).

Для достоверного определения запаса, соответствующего генеральной совокупности выделов (712,8 га) с преобладанием соснового элемента леса в лесорастительных условиях ( $C_3$ ), необходимо случайным образом охватить площадь – 2,12 га ( $42 \cdot 0,05 = 2,1$ ), соответствующую 0,3 % площадей выделов генеральной совокупности.

Исходные данные также подверглись расчёту по действующей методике ГИЛ, в результате чего было выявлено, что разница в объёме работ между предлагаемым и базовым вариантами методики является значительной (более чем в 8 раз). Это связано, прежде всего, с тем, что авторы действующей методики ГИЛ изначально задались размером пробной площади в 0,05 га, а всё последующее определение объёма работ производилось без учёта необходимой площади обследования. А эта площадь может быть получена только при наличии необходимого числа стволов деревьев для соответствующей возрастной группы древостоев. Данное условие является обязательным для достоверного определения наиболее важного таксационного показателя древостоев – запаса на 1 га.



**Таблица 7**

Допустимые отклонения и фактические ошибки определения средневзвешенной относительной полноты, средней высоты и среднего диаметра по преобладающим породам

Преобладающая порода	Площадь типической выборки, га	Минимально необходимая площадь обследований, га	Допустимые отклонения показателей по лесоустроительной инструкции 2018 г.			Ошибки по предлагаемой методике		
			средняя высота, м ( $\pm 10\%$ )	средний диаметр, см ( $\pm 12\%$ )	полнота, ед.	средняя высота, м	средний диаметр, см	полнота, ед.
Сосна	712,8	2,1	2,6	3,6	0,2	0,0	-0,8	0,0
Ель	4903	1,3	2,4	3,0	0,2	-0,6	-0,5	0,0
Пихта	1,1	0,5	2,6	3,1	0,2	0,3	1,0	0,0
Дуб низкоствольный	7,3	2,3	1,6	2,7	0,2	-0,1	-0,3	0,0
Берёза	17835,2	1,2	2,0	2,1	0,2	-0,4	-0,5	0,0
Осина	3605,8	0,8	2,1	2,4	0,2	0,6	1,2	0,0
Ольха серая	98,5	1,6	1,9	2,1	0,2	0,1	0,4	0,0
Липа	140,4	0,7	1,9	2,1	0,2	0,5	0,8	0,0
Ива древовидная	10,6	1,1	1,5	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0
Дуб	5,9	0,6	2,0	3,1	0,2	-0,2	0,0	0,0

**Таблица 8**

Сравнительные данные расчетных значений t-критерия Стьюдента с теоретическими на 5-процентном уровне значимости

Преобладающая порода	Расчетное значение t-критерия Стьюдента по таксационным показателям					Теоретическое значение $t_{05}$
	запас на 1 га	средняя высота	средний диаметр	полнота	коэффициент состава преобладающей породы	
Сосна	0,75	0,09	1,33	0,89	0,94	<b>1,96</b>
Ель	0,55	1,75	1,01	0,24	0,83	<b>1,96</b>
Пихта	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	<b>1,96</b>
Дуб низкоствольный	0,13	0,22	0,20	0,07	0,14	<b>1,96</b>
Берёза	0,66	0,95	1,17	0,55	1,11	<b>1,96</b>
Осина	0,85	1,50	1,59	0,82	0,19	<b>1,96</b>
Ольха серая	0,40	0,16	0,78	1,21	0,26	<b>1,96</b>
Липа	0,81	0,85	0,77	0,08	0,48	<b>1,96</b>
Ива древовидная	0,04	0,03	-	0,01	0,04	<b>1,96</b>
Дуб	0,23	0,23	1,28	0,23	-	<b>1,96</b>

Примечание. \*Прочерки указывают, что средние арифметические, соответственно дисперсии генеральной и выборочной совокупностей по рассматриваемым показателям, абсолютно идентичны, и расчет t-статистики в этом случае не может быть произведен.

Статистическая оценка различий между таксационными показателями, полученными по выборочной и генеральной совокупностям, проведена по *t-критерию Стьюдента*, рассчитанному по формуле (4), расчетные значения которого указывают на то, что различия между ними несущественны и недостоверны на 5-процентном уровне значимости. Это позволяет принять нулевую гипотезу и утверждать, что выборочная совокупность выделов репрезента-

тивна и соответствует генеральной совокупности выделов (табл. 8).

$$t_{\phi} = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) * ((n_1 - 1) * \sigma_1^2 + (n_2 - 1) * \sigma_2^2)}}, \quad (4)$$

$$(n_1 + n_2 - 2)$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение, куб.м/га (нижний индекс, является идентификатором выборки);

$n_1$  – число выделов в генеральной совокупности, ед.;

$n_2$  – число выделов в выборочной совокупности, ед.;

$M_1$  – средневзвешенная величина таксационного показателя, по генеральной совокупности выделов;

$M_2$  – средневзвешенная величина таксационного показателя, по выборочной совокупности выделов.

В случае если значение средневзвешенного таксационного показателя по выборочной совокупности является большим по отношению к средневзвешенному значению по генеральной, расчетное значение числителя формулы берется по модулю числа.

Предлагаемые методические указания по выборочной инвентаризации, несомненно, увеличивают объем работ, однако являются существенной альтернативой натурным обследованиям, так как могут быть выполнены по более совершенной технологии с обработкой материалов аэрофотосъемки (АФС), обеспечивая при этом высокую производительность и достоверность результатов инвентаризации.

Наиболее перспективным вариантом получения АФС является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Технологии фотограмметрической обработки аэрофотоснимков дают возможность создания 3D-модели местности – цифровой модели местности (ЦММ). Разница в параметрах цифровой модели местности (ЦММ) с цифровой моделью рельефа (ЦМР) позволяет получить цифровую модель растительности.

Цифровая модель растительности позволяет дешифровать как высоту отдельных деревьев, так и среднюю высоту древостоя (рис. 2).

Преимуществом использования БПЛА при выборочной инвентаризации насаждений является возможность проведения съемки в условиях низкой облачности, что является большим препятствием для пилотируемой авиации. При цифровой аэрофотосъемке с высоты 200–400 метров над земной поверхностью становится возможным получение снимков сверхвысокого разрешения – 10 см/пиксель (рис. 3).

Использование АФС сверхвысокого разрешения позволяет повысить качество дешифрирования таксационных показателей. С достаточной точностью могут быть определены: породный состав, сомкнутость полога, а через неё – относительная полнота древостоя, верхняя и средняя высота, средний диаметр и запас по элементам леса.

Апробация дистанционной инвентаризации (оценки таксационных показателей с использованием аналитико-измерительного дешифрирования) проводилась в 2017 г. на территории Дмитриевского участкового лесничества, Устьянского лесничества Архангельской области. Д.В. Хлюстовым и А.М. Ганихиным в составе группы соисполнителей в лице сотрудников филиала ФГБУ «Рослесинфорг» «Центрлеспроект» при выполнении лесоустроительных работ было осуществлено картирование и измерение дендрометрических показателей более чем у 2600 деревьев на 13 дешифровочных пробных площадях. На указанных пробных площадях, расположенных в различных лесорастительных условиях, выполнено картирование месторасположения деревьев и проекций их крон, а также получены ведомости сплошного перечёта деревьев.

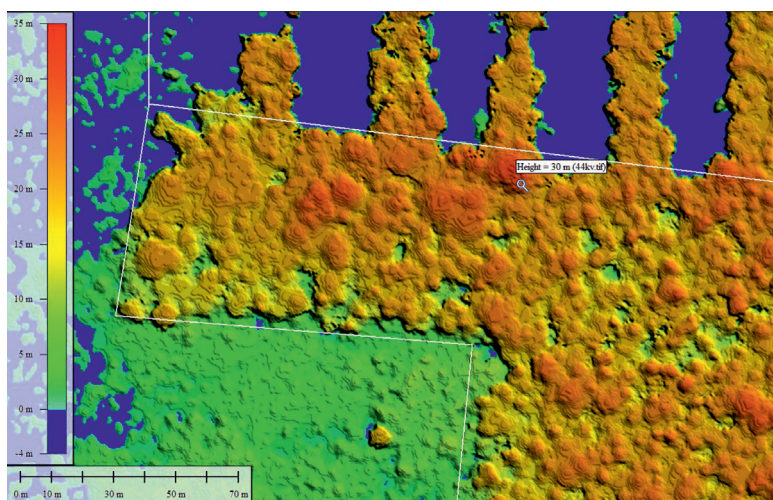


Рис. 2. Дешифрирование высотной характеристики лесного полога методами компьютерного зрения

Картирование деревьев и проекций их крон осуществлено по технологии Field Map. При измерении морфометрических показателей каждого дерева оценивались: диаметр ствола на высоте груди, высота, древесная порода, категория технической годности. У отдельных деревьев с помощью возрастного бурава извлекались керны древесины для подсчёта годичных слоев и определения возраста деревьев.

Аэрофотосъемка объекта обследования была получена при использовании БПЛА – «Геоскан 101». Фотограмметрическая обработка материалов съемки, а также «сшивка» ортофотоплана выполнены в программной среде Agisoft Metashape. Перед натурными измерениями проведено предварительное дешифрирование таксационных показателей древесного полога, определены места закладки пробных площадей, затем

осуществлено сопоставление результатов дешифрирования и результатов натурных измерений.

Таксационные показатели, полученные при аналитико-измерительном дешифрировании, а также рассчитанные при использовании ИСС ЛТН, были сопоставлены с результатами сплошного перечёта на пробных площадях. В итоге получены результаты, позволяющие сделать вывод о высокой надежности предлагаемых методических решений при определении таксационных показателей для отдельно взятых элементов леса. Отклонения таксационных показателей, полученных при аналитико-измерительном дешифрировании, не превышают допустимых отклонений при наземной глазомерно-измерительной и перечислительной таксации, соответствующей требованиям лесоустойчивой инструкции 2018 г. (табл. 9–11).



Рис. 3. Фрагмент АФС сверхвысокого разрешения

Таблица 9

Сравнение запаса, определяемого по предлагаемой методике, с запасом, полученным при сплошном переписе на пробных площадях

Древесная порода	Запас древостоя по породам, куб.м/га		Отклонение, %	Допустимые ошибки по лесоустроительной инструкции 2018 г.		
	по данным перечета	по ИСС ЛТН		Методы таксации		
				Сплошной перечислительный	Выборочный измерительно-перечислительный	Глазомерно-измерительный
ОС	261	274	5	5	5-10	10-15
Б	106,2	112	5,5			
Е (1 ярус)	4,5	4,8	6,7			
Е (2 ярус)	60,5	60,1	-0,7			

Таблица 10

Сравнение диаметра, определяемого по предлагаемой методике, с диаметром, полученным при сплошном пересчете на пробных площадях

Древесная порода	Средний диаметр, см		Отклонение, %	Допустимые ошибки по лесоустроительной инструкции 2018 г.		
	по данным пересчета	по ИСС ЛТН		Методы таксации		
				Сплошной перечислительный	Выборочный измерительно-перечислительный	Глазомерно-измерительный
ОС	25,6	25,5	-0,4	3-5	5-10	10-12
Б	18,4	17,8	-3,3			
Е (1 ярус)	23,2	23,0	-0,9			
Е (2 ярус)	13,0	13,1	+0,8			

Таблица 11

Сравнение высоты, определяемой по предлагаемой методике, с высотой, полученной при сплошном пересчете на пробных площадях

Древесная порода	Средняя высота, м		Отклонение, %	Допустимые ошибки по лесоустроительной инструкции 2018 г.		
				Методы таксации		
	по данным перечета	по ИСС ЛТН		Сплошной перечислительный	Выборочный измерительно-перечислительный	Глазомерно-измерительный
ОС	25,7	26,4	2,7	3-5	5-10	10-12
Б	23,0	22,0	-4,3			
Е (1 ярус)	23,3	23,0	-1,3			
Е (2 ярус)	13,5	13,0	-3,7			

В целях соответствия требуемой точности проведения ГИЛ методическими указаниями предусмотрено проведение проверки не менее чем на 5 % пробных площадей, распределённых по субъекту.

Считаем целесообразным в новых методических рекомендациях сохранить указанное требование, а также в процессе таких контрольных проверок получать сведения о подпологовой растительности, не видимой на аэрофотоснимке. Так, данные о подросте, подлеске, живом напочвенном покрове, детрите разной степени разложения и т.д. следует учитывать отдельно и распределять их в соответствии с особенностями лесорастительных условий в конкретной выборочной совокупности выделов.

### Выводы

1. Предлагаемый подход к стратификации лесных площадей, а также использование формулы В.С. Немчинова гарантирует достоверное определение объёма работ по выборочной инвентаризации лесов, что в итоге обеспечит достоверное определение средневзвешенных значений таксационных показателей древостоев.

2. Проведение выборочной инвентаризации лесов дистанционно, путём закладки фотопроб в типических выборках, дифференцированных по типам лесорастительных условий, преобладающим породам, классам возраста, позволит сохранить принцип случайности при выборе мест закладки пробных площадей, свести до минимума изменчивость запаса на 1 га, оценить продуктивность и с достаточной точностью определить средние значения таксационных показателей древостоев.

3. Статистическая достоверность расчёта средневзвешенных величин основных таксационных показателей по случайным выборкам выделов доказана при использовании t-критерия Стьюдента на 95-процентном уровне доверительной вероятности, что подтверждает соответствие таксационных показателей, полученных по случайным выборкам, параметрам генеральных совокупностей.

4. Использование информационно-справочной системы лесотаксационных нормативов (ИСС ЛТН В.К. Хлюстова и др., 2011) даёт возможность повысить оценку точности значений таксационных



показателей древостоев, полученных при аналитико-измерительном дешифрировании, а также произвести комплексную оценку древесных ресурсов с последующей автоматизацией процесса расчета их товарно-денежной структуры и биоэнергетического потенциала как при сплошной, так и при выборочной инвентаризации лесов.

#### *Рекомендации производству*

Для практического использования предложена поэтапная методика проведения выборочной (государственной) инвентаризации лесов. Предварительно должна быть взята на вооружение разработанная авторами региональная карта-схема комплексного лесного ресурсно-экологического районирования субъекта РФ. Далее в пределах отдельного лесного района по предложенному алгоритму формируются выборки пробных площадей с числом деревьев в соответствии с «Общесоюзными нормативами по таксации лесов». Затем по формуле академика В.С. Немчинова проводится расчёт необходимого числа пробных площадей в разрезе страт, дифференцированных по типам лесорастительных условий, преобладающим породам и классам возраста. Выборочную инвентаризацию предлагается проводить дистанционно средствами ДЗЗ, используя беспилотные летательные аппараты, для получения аэрофотосъёмки сверхвысокого разрешения (10 см/пиксель) с последующим построением цифровой модели высот (ЦМВ).

#### **Список литературы / References**

1. Вдовин Е.С. Совершенствование выборочного метода таксации при государственной инвентаризации лесов: дис. ... канд. с.-х. наук. Йошкар-Ола, 2011. 162 с.  
Vdovin E.S. Improvement of the sampling method of taxation in the state forest inventory: dis. ... kand. s.-kh. nauk. Yoshkar-Ola, 2011. 162p. (in Russian).
2. Трейфельд Р.Ф. Государственная инвентаризация лесов. Кто виноват, что она такая? Лесной форум России. 31.05.2015. [Электронный ресурс] URL: <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?t=18065> (дата обращения: 01.02.2021).  
Trayfeld R.F. State forest inventory. Who's to blame for her being like this? Forest forum Greenpeace of Russia. 31.05.2015. [Electronic resource]. URL: <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?t=18065> (date of access: 01.02.2021) (in Russian).
3. Приказ ФАЛХ от 10 ноября 2011 года N 472 «Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов (с изменениями на 15 марта 2018 года). [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902325555> (дата обращения: 02.02.2021).  
Order of the Federal forestry Agency from November 10, 2011 № 472 «About the approval of methodical recommendations on carrying out the state inventory of the forests (with changes for March 15, 2018)». [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902325555> (date of access: 02.02.2021) (in Russian).
4. Фарбер С.К., Брюханов Н.В. Материалы массовой таксации и государственной инвентаризации лесов: Характеристика расхождений, причины, анализ // Сибирский лесной журнал. 2014. № 5. С. 16–28.

- Farber S.K., Brukhanov N.V. Materials of mass taxation and state forest inventory: Characteristics of discrepancies, causes, analysis // Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2014. № 5. P. 16–28 (in Russian).
5. Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н. Проблема репрезентативности стратифицированной выборки на примере отчёта по ГИЛ Калужской области // Точка зрения. ВНИИЛМ. 2014. № 4. С. 34–38.  
Filipchuk A.N., Moiseev B.N. The problem of representativeness of a stratified sample on the example of a report of the GIL on the Kaluga region // Tochka zreniya. VNIILM. 2014. № 4. P. 34–38 (in Russian).
6. Жирин В.М., Лукина Н.В. Развитие системы инвентаризации лесов в России // Лесной вестник. 2017. № 2. С. 4–14.  
Zhirin V.M., Lukina N.V. Development of the forest inventory system in Russia // Lesnoy vestnik. 2017. № 2. P. 4–14 (in Russian).
7. Хлюстов В.К., Ганихин А.М., Хлюстов Д.В. Ресурсно-экологическое районирование и государственная инвентаризация лесов: учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. 185 с.  
Khlyustov V.K., Ganikhin A.M., Khlyustov D.V. Resource and ecological zoning and state forest inventory: uchebnoye posobiye. M.: RGAU-MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2018. 185 p. (in Russian).
8. Хлюстов В.К. Концепция научно-методического сопровождения инвентаризации лесов в XXI в. // Государственный лесной реестр, государственная инвентаризация лесов и лесостроительство: материалы 3-й Междунар. научно-практич. конф. (Новосибирск, 29 ноября–1 декабря 2012 г.). М.: ФГУП «Рослесинфорг», 2013. С. 28–33.  
Khlyustov V.K. The concept of scientific and methodological support of forest inventory in the XXI century // Gosudarstvennyy lesnoy reyestr, gosudarstvennaya inventarizatsiya lesov i lesoustroystvo: materialy 3-y Mezhdunar. nauchno praktich. konf. (Novosibirsk, 29 noyabrya–1 dekabrya 2012 g.). M.: FGUP «Roslesinform», 2013. P. 28–33 (in Russian).
9. Хлюстов В.К., Устинов М.М., Хлюстов Д.В. Информационно-справочная система комплексной оценки древесных лесных ресурсов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. Вып. 2. С. 148–166.  
Khlyustov V.K., Ustinov M.M., Khlyustov D.V. Information and reference system of integrated assessment of wood forest resources // Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2013. Is. 2. P. 148–166 (in Russian).
10. Хлюстов В.К., Хлюстов Д.В. Автоматизация инвентаризации лесных ресурсов с применением технологий дистанционного зондирования Земли // Государственный лесной реестр, государственная инвентаризация лесов и лесостроительство: материалы 3-й Междунар. научно-практич. конф. (Новосибирск, 29 ноября – 1 декабря 2012 г.). М.: ФГУП «Рослесинфорг», 2013. С. 185–188.  
Khlyustov V.K., Khlyustov D.V. Automation of forest resources inventory using remote sensing technologies // Gosudarstvennyy lesnoy reyestr, gosudarstvennaya inventarizatsiya lesov i lesoustroystvo: materialy 3-y Mezhdunar. nauchno praktich. konf. (Novosibirsk, 29 noyabrya – 1 dekabrya 2012 g.). M.: FGUP «Roslesinform», 2013. P. 185–188 (in Russian).
11. Khlyustov V. Information system of forest growth and productivity by site quality type and elements of forest. Austria Center Vena (Bruno-Kreisky-Platz 1, 1220 Vienna, Austria). EGU General Assembly 2012. 22.04.12-27.04.2012 (in English).
12. Приказ ФАЛХ от 9 апреля 2015 года № 105 «Об установлении возрастов рубок». [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420275076> (дата обращения: 01.02.2021).  
Order of the Federal forestry Agency from April 9, 2015 № 105 «On setting the age of cutting». [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420275076> (date of access: 01.02.2021) (in Russian).
13. Приказ Минприроды России от 29.03.2018 N 122 «Об утверждении Лесостроительной инструкции». [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_296757](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_296757) (дата обращения: 01.02.2021).  
Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation from 29.03.2018 № 122 «About the approval of the forest Management instruction». [Electronic resource] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_296757](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_296757) (date of access: 01.02.2021) (in Russian).