

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО FORESTRY

Научная статья

УДК 630*9

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.6>

EDN: INDOJL

Государственная инвентаризация лесов в Российской Федерации: изменчивость и точность определения запаса древесины

**В. Л. Черных^{1✉}, Е. Д. Поваров², С. В. Фёдоров², Л. В. Черных¹,
Д. В. Черных¹, А. С. Фомин¹**

¹Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

²Рослесинфорг,
Российская Федерация, 109316, Москва, Волгоградский пр-т, 45, стр. 1
ChernyhVL@volgatech.net[✉]

Введение. Устойчивое управление лесным сектором в каждой стране невозможно без актуальных и достоверных данных о лесах. В настоящее время одним из методов учёта лесных ресурсов является государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) на основе точечных оценок данных постоянных пробных площадей (ППП). Первый цикл ГИЛ в России завершился в 2020 году. Большой объём данных о запасах древесины, полученных выборочным методом, требует глубокого их анализа. **Цель работы** – оценка изменчивости и точности средних значений относительной полноты, запаса древостоев по материалам PPP, выявление причин расхождения относительных полнот и запасов, полученных по данным государственного лесного реестра (ГЛР), и материалами первого цикла ГИЛ 69 субъектов Российской Федерации. **Объекты и методы.** Объектом исследования послужили леса Российской Федерации (РФ). Исследования базируются на материалах ГЛР по состоянию на 01.01.2023 и результатах измерений 57,5 тыс. PPP, заложенных по методике ГИЛ. Анализ выборочных данных проводился с использованием критерия Аббе, правила Томпсона, *t*-распределения, кумуляты, регрессионных моделей. **Результаты.** Выполнены испытания на однородность таксационных показателей PPP ГИЛ, а также проверка гипотезы о равенстве средних значений относительных полнот, вычисленных по материалам ГИЛ и ГЛР по *t*-критерию существенности различия на уровне значимости 0,05. Обоснованы причины расхождения запасов, полученных по данным ГЛР и ГИЛ. **Выводы.** В целом по обобщённым совокупностям средневзвешенных относительных полнот по площади в 69 субъектах РФ изменчивость принимает значение 47,5 % (21,6–103,9 %) по материалам ГИЛ и 27,1 % (2,4–30,9 %) по данным ГЛР. Относительные полноты ГИЛ и ГЛР в 30 регионах существенно не различаются на уровне значимости $\alpha=0,05$, а в остальных 39 субъектах РФ такие различия статистически доказаны. Определена точность оценки относительных полнот по субъектам РФ, которая по материалам PPP ГИЛ находится в пределах от 0,2 до 3,6 %, и по данным ГЛР от 0,1 до 1,0 %. В целом для РФ по данным ГИЛ точность определения запаса древостоев равна 0,25 % и относительной полноты 0,20 %.

Ключевые слова: инвентаризация лесов; постоянные пробные площади; таксация; статистики; выборочная совокупность; запас; кумулята; критерий Аббе; правило Томпсона

© Черных В. Л., Поваров Е. Д., Фёдоров С. В., Черных Л. В., Черных Д. В., Фомин А. С., 2024

Для цитирования: Черных В. Л., Поваров Е. Д., Фёдоров С. В., Черных Л. В., Черных Д. В., Фомин А. С. Государственная инвентаризация лесов в Российской Федерации: изменчивость и точность определения запаса древесины // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 1 (61). С. 6–29. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.6>; EDN: INDOJL

Введение. Успешное, эффективное и устойчивое управление лесным сектором невозможно без актуальных и достоверных данных о лесах. На отсутствие достоверных актуальных сведений об имеющихся лесных ресурсах в нашей стране указывает и «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года»¹. Известно, что главным источником данных о лесных ресурсах является лесоустройство, банк данных государственного учёта лесного фонда (ГУЛФ), государственный лесной реестр (ГЛР), а с 2007 года государственная инвентаризация лесов (ГИЛ).

Отметим, что в соответствии со статьёй 90 Лесного Кодекса РФ структура ГИЛ² состоит из четырёх разделов:

1) оценка состояния лесов, их количественных и качественных характеристик;

2) анализ качества проведения мероприятий по сохранению лесов;

3) анализ качества проведения и результативности мероприятий по использованию лесов;

4) анализ, оценка и прогноз изменения состояния лесов в целях стратегического планирования в области лесного хозяйства.

В 2022 году Рослесхоз разработал подробный регламент организации и проведения мероприятий по государственной инвентаризации лесов с учётом опыта проведения первого цикла работ по ГИЛ³, который проводился с 2007 по 2020 гг. По данным Рослесхоза, Государственная инвентаризация осуществлена на площади

1 187,6 млн гектаров, заложено 69,1 тыс. пробных площадей⁴.

Определение количественных и качественных характеристик лесов⁵ при первом цикле государственной инвентаризации лесов в РФ проводилось по следующему алгоритму:

– получение и анализ исходных данных на объект работ;

– создание цифровой основы объектов работ на базе топографических карт и материалов лесоустройства;

– подготовка и актуализация базовых карт-схем лесных страт с учётом воздействия антропогенных и природных факторов с использованием данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ);

– изготовление актуализированных карт-схем лесных страт, вычисление площадей страт, уточнение площадей земель лесного фонда;

– камеральное статистическое размещение, определение местоположения пробных площадей;

– полевые работы по закладке пробных площадей и проведение на них исследований и измерений таксационных показателей элементов леса, ярусов и древостоев, оценки биоразнообразия, экологических факторов лесной среды, почвы, компонентов фитомассы, депонирования углерода;

– камеральное определение количественных и качественных характеристик лесов по результатам комплексной обработки данных стратификации и пробных площадей;

– анализ и обобщение результатов, подготовка ежегодных отчётов по субъектам РФ в разрезе лесничеств.

Материалы исходных данных пробных площадей ГИЛ, заложенных на территории субъектов РФ, являются основанием для расчёта и статистической оценки 117 количественных и качественных показателей покрытых лесом земель⁵.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 № 312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения: 21.01.2024).

² Лесной кодекс Российской Федерации (ред. от 13.06.2023). М.: ТК Велби, Издательство «Проспект», 2008. 68 с.

³ Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 6 мая 2022 г. № 556 «Об утверждении Регламента организации и проведения мероприятий по государственной инвентаризации лесов центральным аппаратом Рослесхоза, территориальными органами Рослесхоза и подведомственными Рослесхозу организациями». URL: https://rosleshoz.gov.ru/doc/pr_№556_2022.05.06 (дата обращения: 14.01.2024).

⁴ Итоги первого цикла ГИЛ. URL: <https://roslesinforg.ru/services/gil/#>

⁵ Приказ Рослесхоза от 10 ноября 2011 года № 472 «Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/902325555> (дата обращения: 21.01.2024).

Таблица 1. Точность определения запаса при выборочной инвентаризации лесов в разных странах
 Table 1. Accuracy of the growing stock volume estimation during sample forest inventories in different countries

Страна	Дата проведения NFI, год	Точность определения запаса, %		Коэффициент изменчивости запаса на 1 га, %
		расчётная	фактическая	
Швеция [1]	1914	$\pm 2,0$	$\pm 1,0$	–
Швеция [2]	1953...1962	–	$\pm 0,5$	–
Германия [2]	1956...1957	–	$\pm 5,0$	65
Австрия [2]	1961...1970	–	$\pm 13,6$	–
Финляндия [2, 3]	1962, 2011	$\pm 1,0$	$\pm 0,4... \pm 0,5$	–
Россия, Ивановская область [2]	1964	$\pm 5,2$	$\pm 3,8$	–
Россия, Иркутская область [2]	1964	$\pm 2,8$	$\pm 2,7$	–
Болгария [2]	1969	$\pm 5,0$	$\pm 4,9$	70
Литва [2, 4]	1971	$\pm 1,8$	$\pm 0,9$	57,9
США [5]	2016	$\pm 0,5... \pm 1,1$	–	–
Канада [5]	2020	$\pm 2,0... \pm 5,0$	–	–
Россия, первый цикл ГИЛ [6]	2011, 2020	$\pm 1,0 (1,0...5,0)$	$\pm 0,35$	–
Россия, второй цикл ГИЛ: [5] первая зона погрешности; вторая зона погрешности третья зона погрешности	2022	$\pm 5,0$;	–	–
		$\pm 7,0$;	–	–
		$\pm 10,0$	–	–
Евросоюз [7]	2022	–	$-10...+30$	–

Например, средние значения запаса на одном гектаре оцениваются по:

- категориям лесных земель, группам древесных пород и преобладающим породам;
- группам возраста, группам возраста и преобладающим породам, группам возраста и группам древесных пород;
- классам возраста, классам возраста и преобладающим породам, классам возраста и группам древесных пород;
- распределению общего запаса по дифференцированным ступеням толщины.

Такой объём больших и разносторонних данных только о запасах древесины, полученных выборочным методом, требует глубокого их анализа, оценки варьирования и точности средних значений на уровнях агрегирования по лесничествам, субъектам РФ, лесным районам.

Главное преимущество выборочной статистической инвентаризации лесов заключается в том, что характеристики лесов определяются с заранее установленной точностью по запасу древостоев объекта исследований (табл. 1).

Важность определения запаса древесины на всех уровнях управления лесными ресурсами подтверждает и Thomas Gschwantner (2022) при описании целей и задач объединённой Европейской национальной лесной инвентаризации (ENFI) [7].

Впервые математико-статистический подход по инвентаризации лесов Швеции предложил и апробировал в 1840 году A. I. af Strom [цит по: 1]. За основу был принят линейно-выборочный метод [2]. В Финляндии математико-статистический подход был опробован в 1885 году, а в Норвегии в период с 1907 по 1909 год. Анализ методов статистической инвентаризации лесов в зарубежных странах подробно описан в публикациях [2, 3]. В соответствии со Стратегией лесного хозяйства Евросоюза точность определения запаса древостоев считается главным показателем оценки лесных ресурсов, который определяется при проведении ENFI для принятия политических решений при планировании управления лесами [8–11].

В настоящее время национальная инвентаризация лесов математико-статис-

тическим методом проводится в 112 странах мира [3].

Цель работы – оценка изменчивости и точности определения средних значений относительной полноты, запаса древостоев по материалам пробных площадей, выявление причин расхождения относительных полнот и запасов, полученных по данным ГЛР и материалам первого цикла ГИЛ 69 субъектов РФ.

Задачи исследований: 1) выполнить анализ данных измерений и расчётов по материалам постоянных пробных площадей на наличие в выборочных совокупностях систематических погрешностей и резко выделяющихся значений (выбросов) таксационных показателей; 2) определить изменчивость и точность оценки средних значений таксационных показателей; 3) выявить существенность различий средних значений относительных полнот древостоев, полученных по данным ГЛР и материалам первого цикла ГИЛ 69 субъектов РФ.

Объект исследований. Объектом исследования являются покрытые лесом земли 69 субъектов РФ.

Экспериментальными данными служили следующие материалы:

- массив данных таксационных характеристик 97 пробных площадей, заложенных по методике ГИЛ на территории Республики Марий Эл;

- база данных ГЛР «Распределение площади лесов и запасов древесины по преобладающим породам и группам возраста» и «Распределение площади древостоев по группам пород, группам возраста, полнотам и классам бонитета», актуализированная на 01.01.2023;

- базы данных ГИЛ первого цикла работ в формате (программно-измерительного комплекса государственной инвентаризации лесов (далее ПИК ГИЛ) по 69 субъектам РФ в виде агрегированных данных распределения площадей по относительным полнотам и средним значениям запасов древостоев, рассчитанных по материалам 57,5 тыс. шт. постоянных пробных площадей;

- стандартные таблицы сумм площадей сечений и запасов древостоев при полноте 1,0 собранных со всех филиалов ФГБУ «Рослесинфорг».

Методы исследований. Теоретической основой статистической инвентаризации лесов является теория вероятностей, закон больших чисел и тот факт, что таксационные показатели древостоев при выборочном наблюдении являются случайными величинами и их плотность распределения вероятностей подчиняются нормальному закону распределения. Поэтому статистический анализ результатов NFI лесов является основой для получения достоверных, с заданной точностью, оценок расчётных характеристик состояния и динамики лесов объекта исследований, лесного района, субъекта РФ и России в целом.

Первоначально оценка изменчивости относительной полноты и запаса древостоев выполнялась по материалам пробных площадей, заложенных на территории Марий Эл по методике ГИЛ в 2015–2016 гг. Величина пробной площади составляла 0,05 га. Камеральная обработка результатов измерений на пробных площадях выполнялась в соответствии с ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустroительные» по программе Proba2 «Таксация и товарищеская пробных площадей»⁶. Таксационные показатели по элементам леса вычислялись по общепринятым в лесной таксации формулам^{7,8}. Результаты вычислений по каждой пробной площади включены в базу данных таксационных показателей по элементам леса и ярусам. Общее число пробных площадей для статистического анализа составило 97 шт., в том числе: сосна – 56, берёза – 7, липа и ель по 8.

⁶ Информационные технологии в лесостроительстве: учебное пособие / В. Л. Черных, В. К. Хлюстов, М. М. Устинов. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. 184 с.

⁷ Верхунов П. М., Черных В. Л. Таксация леса. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 306 с.

⁸ Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загребев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко и др. М.: Колос, 1992. 495 с.

При измерении таксационных показателей древостоев по элементам леса на пробных площадях возникают погрешности, связанные с точностью измерительных приборов и инструментов, условиями измерений, субъективными причинами и т. д. Для выявления и устранения таких погрешностей из результатов измерений существуют несколько подходов и критериев. Нами выбран критерий Аббе⁹, который используется для доказательства присутствия в случайной выборке систематических погрешностей. Расчёт критерия Аббе по таксационным показателям на пробных площадях проведён по методу разностей¹⁰.

Определение запаса древостоя по породам и ярусам проводилось по методу объёмных таблиц (Mot), стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0 (Mst) и методу видовых высот (Mhf). Все указанные методы определения запаса элемента леса, яруса древостоя используются на практике, поэтому с целью оценки точности определения запаса были выполнены расчёты по всем трём методам.

Расчёт запаса на пробной площади выполнялся по следующим формулам:

а) метод объёмных таблиц (Mot)

$$M_{yr} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k n_{ji} \cdot V_{ji}^{rh}, \quad (1)$$

где M_{yr} – запас древостоя яруса на единице площади, м³; j – индекс древесной породы, ед.; i – индекс ступени толщины, ед.; rh – индекс разряда высот древесной породы, ед.; m – количество древесных пород, составляющих ярус, ед.; k – количество ступеней толщины древесной породы, ед.; yr – номер яруса древостоя, ед.; n_{ji} – число стволов в i ступени толщины j древесной породы, шт.; V_{ji}^{rh} – объём ство-

ла i ступени толщины j древесной породы и разряда высот rh , м³.

б) метод стандартных таблиц (Mst)

$$M_{yr} = M_{pp}^{1.0} \cdot \frac{\sum_{j=1}^m G_j}{\sum G_{pp}^{1.0}}, \quad (2)$$

где M_{yr} – запас древостоя яруса на 1 га, м³; j – индекс древесной породы, ед.; pp – индекс преобладающей древесной породы, ед.; $M_{pp}^{1.0}$ – запас из стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0 по преобладающей породе и её средней высоте на 1 га, м³; $\sum G_{pp}^{1.0}$ – сумма площадей сечений по преобладающей породе, её высоте из стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0 на 1 га, м²; $\sum_{j=1}^m G_j$ – общая сумма площадей сечений по древесным породам, составляющим ярус древостоя на 1 га, м².

в) метод видовых высот (Mhf)

$$M_{yr} = \sum_{j=1}^m G_j \cdot HF_j, \quad (3)$$

где M_{yr} – запас древостоя яруса на 1 га, м³; j – индекс древесной породы, ед.; m – количество древесных пород, составляющих ярус, ед.; $\sum_{j=1}^m G_j$ – общая сумма площадей сечений по древесным породам, составляющим ярус древостоя на 1 га, м²; H_j – видовая высота j древесных пород, м; HF_j – видовая высота j древесной породы, составляющей ярус, рассчитанная по уравнению $HF_j = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot H_j$, м.

Расчёт основных статистических показателей интервальных рядов относительных полнот древостоев проводился по методу начальных и центральных моментов¹⁰.

Проверка интервальных рядов распределения относительных полнот и таксационных показателей пробных площадей на наличие выбросов выполнялась по правилу Томпсона [цит по: 12].

При сравнении средних значений относительных полнот, полученных по материалам ГИЛ и ГЛР, использовался «двухвыборочный t -критерий» [12].

⁹ Сергеев А. Г., Крохин В. В. Метрология: уч. пособие. М.: Логос, 2001. 375 с

¹⁰ Соколов П. А., Черных В. Л. Вариационная статистика: уч. пособие. Йошкар-Ола: МарПИ, 1990. 99 с.

Результаты исследований и обсуждение. На первом этапе исследований был выполнен анализ материалов пробных площадей, заложенных по методике ГИЛ на территории Республики Марий Эл.

Вычисленные значения критерия Аббе и его табличные значения на уровне значимости $\alpha=0,01$ и $\alpha=0,05$ по породам приведены в табл. 2. Фактические значения критерия Аббе по всем таксационным показателям и породам больше табличных значений на принятых уровнях значимости. Следовательно, значения таксационных показателей на пробных площадях систематических погрешностей не имеют.

Для выборочной совокупности правильное определение таксационных характеристик древостоя можно проконтролировать, оценить и исправить ошибки.

Доверительные границы оценок выборочной совокупности зависят от многих факторов, которые можно разделить на объективные и субъективные. Устранение субъективных факторов возможно при проверке таксационной характеристики в выборочной совокупности на выбросы по правилу Томпсона [цит по: 12] по следующему алгоритму:

1) формируется выборочная совокупность (x_i ; $i=1; 2; 3; \dots n$) таксационной характеристики элемента леса в пределах

типа леса, лесорастительных условий, происхождения и класса возраста или на уровне агрегирования данных;

2) случайная величина x_i исследуется на однородность. Для каждого значения x_i рассчитывается t -критерий

$$t_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_x}, \quad (4)$$

где $\bar{x}$ – среднее значение; S_x – средне-квадратическое отклонение анализируемой выборочной совокупности;

3) из выборки исключаются все значения x_i , если $|t_i| > t_{m; 1-\frac{\alpha}{2}}$, при $m = n-2$ и уровне значимости $\alpha = 0,01$ или $\alpha = 0,05$.

Критическое значение $t_{m; 1-\frac{\alpha}{2}}$ вычисляется по формулам:

$$t_{m; 0,995} \sim 1,26142 \cdot m^{0,548875} \cdot \arctg\left(\frac{2,04364}{m^{0,548875}}\right), \quad (5)$$

$$t_{m; 0,975} \sim 1,52536 \cdot m^{0,666443} \cdot \arctg\left(\frac{1,28394}{m^{0,666443}}\right); \quad (6)$$

4) после исключения из выборки резко выделяющихся значений случайной величины на принятом уровне значимости формируется новая выборочная совокупность, которая подвергается дальнейшему статистическому анализу.

Таблица 2. Оценка систематических погрешностей результатов измерений на пробных площадях, заложенных по методике ГИЛ на территории Республики Марий Эл

Table 2. Estimation of systematic errors in the results of measurements on sample plots laid out according to SFI methodology on the territory of the Republic of Mari El

Преобладающая порода	Расчётное значение критерия Аббе по таксационным показателям, ед.						п, шт.	Критерий Аббе на уровне значимости	
	полнота, 0,01 ед.	$\sum G$, м ²	запас (м ³), вычисленный по методу			А, лет			
			Mot*	Mst*	Mhf*			0,05	0,01
Берёза	0,998	1,247	1,295	1,292	1,295	1,46	7	0,491	0,307
Липа	1,033	0,899	0,830	0,802	0,786	0,65	8	0,468	0,331
Сосна	0,878	0,851	0,857	0,862	0,864	1,00	56	0,776	0,687
Ель	0,733	0,657	0,879	0,700	0,703	0,62	8	0,491	0,331
Всего	0,888	0,998	1,034	1,010	1,109	1,09	97	0,779	0,712

* Обозначения приведены в тексте на с. 10.

Для проверки вышеприведённого алгоритма по удалению выбросов из выборочной совокупности был выполнен вычислительный эксперимент на материалах массовой таксации. Массив данных составил 17 363 таксационных выдела, характеризующих сосняки брусничные Республики Марий Эл. Рассчитаны доверительные границы для включения контроля на резко выделяющиеся наблюдения по правилу Томпсона. Выявлено, что 818 выделов были исключены из совокупности с доверительной вероятностью 0,95. Ошибки были обнаружены по средним высотам в 165 случаях, по диаметру в 271, по запасу в 382 таксационных выделах. Это показывает, что предложенный методический подход даёт

возможность достоверно оценить таксационные показатели выдела на принятом уровне значимости случайной величины с учётом региональных лесорастительных условий.

Нами выполнена проверка однородности таксационных параметров древостоев в выборочной совокупности, представленной 97 пробными площадями, заложенными по методике ГИЛ на территории Республики Марий Эл. Была выдвинута нулевая гипотеза H_0 : «таксационные показатели древостоев выборочной совокупности пробных площадей однородны».

Проверка на однородность таксационных показателей проводилась на уровне значимости 0,01 и 0,05 (табл. 3).

Таблица 3. Результаты проверки статической гипотезы по правилу Томпсона о резко выделяющихся значениях таксационных показателей в выборочной совокупности пробных площадей, заложенных по методике ГИЛ на территории Республики Марий Эл

Table 3. Results of statistic hypothesis testing by using the Thompson's rule for outlier values of taxation indices in the population of sample plots laid out in line with the SFI methodology on the territory of the Republic of Mari El

Показатель	Ед. измерения	Исходная выборка		Уровень значимости			
				0,01		0,05	
		Хср	п	Хср	п	Хср	п
Характеристика древостоя яруса							
Относительная полнота	0,01 ед.	0,40	97	0,39	96	0,38	95
Сумма площадей сечений	м ²	16,78	97	16,30	96	15,09	93
Запас на 1 га (Mot)*	м ³	171,2	97	171,2	97	152,5	93
Запас на 1 га (Mst)*	м ³	175,8	97	175,8	97	156,4	93
Запас на 1 га (Mhf)*	м ³	178,1	97	178,1	97	158,3	93
Высота	м	20,3	97	20,3	97	20,3	97
Индекс класса бонитета	0,1 ед.	30,4	97	30,4	97	30,4	97
Запас при полноте 1,0	м ³	394,3	97	394,3	97	394,3	97
Характеристика преобладающего элемента леса							
Полнота	0,01 ед.	0,29	97	0,27	95	0,26	93
Сумма площадей сечений	м ²	12,77	97	11,89	95	10,74	92
Запас на 1 га (Mot)*	м ³	129,5	97	115,3	94	106,7	92
Запас на 1 га (Mst)*	м ³	133,0	97	113,6	93	109,6	92
Запас на 1 га (Mhf)*	м ³	134,8	97	119,7	94	111,0	92
Высота	м	19,7	97	19,7	97	19,7	97
Коэффициент состава	%	79,0	97	79,0	97	79,0	97
Видовая высота	м	9,08	97	9,08	97	9,08	97
Видовое число	0,001 ед.	0,478	97	0,454	94	0,447	93
Возраст	лет	56,6	97	56,6	97	54,3	95
Выход деловой древесины	%	68,2	97	68,2	97	68,2	97

* Mot – метод объёмных таблиц; Mst – метод стандартных таблиц; Mhf – метод видовых высот (см. с. 10).

При оценке древостоя яруса по средней высоте, классу бонитета и запасу при полноте 1,0 резко выделяющихся значений не обнаружено, принимается нулевая гипотеза. А такие таксационные характеристики, как абсолютная полнота, запас, рассчитанный по методу объёмных таблиц, стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0 и методу видовых высот на уровне значимости 0,05, имеют резко выделяющиеся значения на пяти пробных площадях. Отметим, что на уровне значимости 0,01 по запасу отклонений нет. Загрязнёнными выборками оказались совокупности по относительной и абсолютной полноте яруса. В выборочных совокупностях с доверительной вероятностью 0,95 и 0,99 имеются выбросы. При их исключении величина средних значений таксационных показателей меняется (см. табл. 3).

Проверка однородности таксационных показателей по преобладающему элементу леса на 97 пробных площадях показала, что резко выделяющихся значений высоты, коэффициента состава, видо-

вой высоты и выхода деловой древесины в выборках нет; выборки однородны. По другим таксационным показателям выборки имеют грубые погрешности, которые в большей степени выявляются на уровне значимости $\alpha = 0,05$ ед.

Вышесказанное доказывает необходимость проверки анализируемых выборочных совокупностей на наличие или отсутствие в них резко выделяющихся наблюдений (измерений). После проверки на однородность первичной выборочной совокупности и исключения резко выделяющихся значений случайной величины на принятом уровне значимости формируется новая выборочная совокупность, принадлежащая одной генеральной совокупности для дальнейшего статистического анализа.

Рассмотрим статистические показатели в виде средних значений ($\bar{X}$), их оценки точности (P_x) и коэффициентов изменчивости (V), рассчитанные по элементам леса, ярусам и в целом по преобладающим древесным породам (табл. 4).

Таблица 4. Изменчивость и точность оценки средних значений таксационных показателей по материалам пробных площадей, заложенных по методике ГИЛ на территории Республики Марий Эл
Table 4. Variability and accuracy of the estimation of the average values of taxation indices on the basis of materials from the sample plots laid out according to the SFI methodology on the territory of the Republic of Mari El

Таксационные показатели	Преобладающая порода	Статистические показатели		
		$\bar{X}_{ср}$	$V, \%$	$P_x, \%$
Относительная полнота, 0,01 ед.	Берёза	0,52	63,4	23,98
Сумма площадей сечений ($\sum G$), м ²		16,5	67,7	25,59
Запас по методу объёмных таблиц (Mot), м ³		163,5	73,4	27,75
Запас по методу стандартных таблиц (Mst), м ³		168,7	73,9	27,93
Запас по методу видовых высот (Mhf), м ³		171,3	74,0	27,97
A, лет		45,7	41,5	15,67
Объём выборки, шт.		7		
Относительная полнота, 0,01 ед.	Липа	0,68	38,2	13,49
Сумма площадей сечений ($\sum G$), м ²		27,5	39,9	14,11
Запас по методу объёмных таблиц (Mot), м ³		275,5	38,6	13,63
Запас по методу стандартных таблиц (Mst), м ³		285,0	43,2	15,28
Запас по методу видовых высот (Mhf), м ³		291,4	43,2	15,29
A, лет		59,6	48,4	17,1
Объём выборки, шт.		8		
Относительная полнота, 0,01 ед.	Сосна	0,32	62,1	8,3
Сумма площадей сечений ($\sum G$), м ²		15,4	69,5	9,28
Запас по методу объёмных таблиц (Mot), м ³		156,2	82,0	10,95
Запас по методу стандартных таблиц (Mst), м ³		159,4	82,2	10,99
Запас по методу видовых высот (Mhf), м ³		161,6	82,3	11,0
A, лет		58,3	38,1	5,09
Объём выборки, шт.		52		

Окончание таблицы 4

Таксационные показатели	Преобладающая порода	Статистические показатели		
		Хср	V, %	Pх, %
Относительная полнота, 0,01 ед.	Ель	0,55	35,9	12,69
Сумма площадей сечений (ΣG), м ²		21,5	31,2	11,01
Запас по методу объёмных таблиц (Mot), м ³		224,0	30,3	10,71
Запас по методу стандартных таблиц (Mst), м ³		234,8	35,2	12,45
Запас по методу видовых высот (Mhf), м ³		237,0	34,9	12,34
A, лет		63,9	32,2	11,4
Объём выборки, шт.		8		
Относительная полнота, 0,01 ед.	Всего	0,40	64,0	6,49
Сумма площадей сечений (ΣG), м ²		16,8	65,5	6,65
Запас по методу объёмных таблиц (Mot), м ³		171,2	74,0	7,52
Запас по методу стандартных таблиц (Mst), м ³		175,8	74,6	7,58
Запас по методу видовых высот (Mhf), м ³		178,1	74,8	7,59
A, лет		56,6	40,5	4,11
Объём выборки, шт		97		

Наибольшая величина коэффициента изменчивости запаса, вычисленная по методу объёмных таблиц, оказалась в сосняках – 82,0, минимальная в ельниках – 30,3, а для всей совокупности – 74,0 %.

Самая высокая точность оценки средних значений относительной полноты, суммы площадей сечений, запаса и возраста была получена по общей совокупности пробных площадей (табл. 4). Следовательно, для сравнительной оценки таксационных показателей древостоев на различных территориальных уровнях можно использовать обобщающие выборочные совокупности и их статистики, в том числе и показатели полноты и запаса древостоев с заданной точностью.

Для подтверждения правильности такого вывода о статистических показателях были сгенерированы случайные выборки по анализируемым таксационным показателям для берёзы, ели и липы. Объём каждой выборки составил 52 ед. В результате статистической обработки модельных случайных выборок установлено, что коэффициент изменчивости запаса берёзы снизился на 9,0 %, ели на 0,5 %, а липы увеличился на 11,7 %. Коэффициент изменчивости запаса по обобщающей выборке объёмом 208 ед. в сравнении с выборкой по таксационным показателям пробных площадей с числом наблюдений

97 ед. снизился на 7,5 %. Таким образом, увеличение числа наблюдений до 52 ед. повышает точность оценки средних значений запаса древостоев на 2,9–3,1 %. Полученные результаты по модельным и натурным выборочным совокупностям об изменчивости и точности оценки таксационных показателей древостоев, произрастающих на территории Марий Эл, доказывают, что для обобщённой оценки продуктивности древостоев можно использовать показатели относительной полноты и запаса на различных уровнях агрегирования данных о лесных ресурсах.

При оценке точности методов таксации запаса древостоев за истинный запас был принят метод таксации по объёмным таблицам. Вычислены систематические и случайные погрешности определения запаса древостоя. Оказалось, что метод стандартных таблиц в среднем имеет систематическую погрешность, равную -1,2 %, а случайная погрешность составляет 14,4 %. Для метода таксации запаса по видовой высоте такие погрешности составляют -2,4 и 14,6 % соответственно.

Анализ материалов первого цикла ГИЛ на примере 69 субъектов РФ показывает, что при оценке запасов древесины по регионам страны имеется систематическое превышение относительной полноты и запасов, рассчитанных по данным

постоянных пробных площадей ГИЛ над данными ГЛР. По нашему мнению, причинами такого различия в оценке продуктивности древостоев в ходе лесоустроительных работ могут быть: а) нормативное ограничение не более 1,0 величины относительной полноты древостоев при таксации лесов¹¹; б) систематическое занижение полноты при таксации лесов, связанное с её нормативным ограничением.

Для того, чтобы исследовать влияние на оценку запасов древесины нормативного ограничения на величину относительной полноты не более единицы, следует учесть, что принята формулировка нормального леса как максимально загущенного древостоя: «Нормальный лес – теоретическая модель совершенного леса, имеющего относительную полноту равную 1,0, наивысший средний прирост древесины, равномерную возрастную структуру и максимальный запас древесины»¹².

Это понимание приводит к тому, что при таксации леса инженер-таксатор, инструментально определив на таксационном выделе сумму площадей сечения стволов, превышающую максимальное значение региональных стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов, вынужден её ограничивать единицей, исходя из регламентирующих критериев нормативных документов и, в первую очередь, Лесоустроительной инструкции, что при таксации высокопродуктивных древостоев приводит к занижению запаса древесины.

Для определения доли древостоев с полнотой более 1,0 по данным заложенных ППП в первом цикле работ ГИЛ были использованы базы данных ПИК ГИЛ по 69 субъектам РФ и «Сборник стандартных таблиц сумм площадей

сечений и запасов насаждений при полноте 1,0»¹³ (далее – стандартные таблицы).

В исследование не были включены города федерального значения и южные субъекты РФ, леса которых представлены преимущественно полесами и колочными лесами среди степей. Не включены новые субъекты РФ.

Из расчёта исключались ППП, заложенные в древостоях первого класса возраста в силу того, что относительная полнота в них определяется не через сумму площадей сечений, а через густоту. Кроме того, был сделан дисперсионный анализ полнот древостоев на ППП, в ходе которого получено среднее значение полноты в лесах РФ, которое составило $0,62 \pm 0,035$, стандартное отклонение – 0,35 ед. Таким образом, с вероятностью 0,68 относительные полноты лежат в пределах от 0,27 до 0,98 ед., а с вероятностью 0,95 – в пределах от 0,0 до 1,33 ед. Окончательно принято решение включить в исследование ППП, полнота древостоев которых лежит в пределах от 0,1 до 2,0 ед.

По каждой ППП был определён запас на 1 га и относительная полнота с использованием стандартных таблиц, а через распределённую по ППП площадь лесов субъекта РФ вычислено долевое участие древостоев по относительным полнотам по данным ГИЛ.

Отметим, что значимым показателем результатов ГИЛ первого цикла работ является величина представленности древостоев с полнотой более 1,0 (рис. 1).

Расчёты показали, что представленность древостоев с полнотой, превышающей единицу, по большинству субъектов РФ, включённых в исследование, колеблется от 10 до 15 %, при максимуме 36,5 % (Московская область) и минимуме 4,7 % (Республика Алтай); средневзвешенная от площади лесов субъектов РФ – 11,8 %.

¹¹ Приказ Минприроды России от 05.08.2022 № 510 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции» (п. 262). URL: <https://docs.cntd.ru/document/351878696> (дата обращения: 10.01.2024).

¹² Энциклопедия лесного хозяйства: в 2-х томах. М.: ВНИИЛМ, 2006. Т. 2, с. 59.

¹³ Сборник стандартных таблиц сумм площадей сечений и запасов насаждений при полноте 1.0 / Е. Д. Поваров и др.; под. ред. Б. В. Рощина. М.: Рослесинфорг, 2021. 183 с.

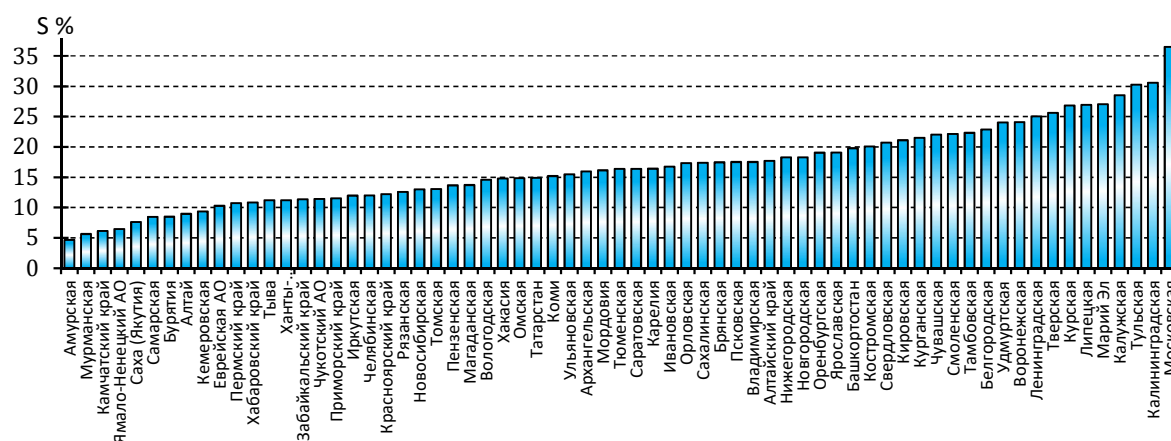


Рис. 1. Доля площади древостоев с полнотой более 1,0 в субъектах РФ
Fig. 1. Share of land area covered by forest stands of normality higher than 1.0 in constituent entities of the Russian Federation

Для статистического анализа относительных полнот по данным ГЛР и ГИЛ были построены ряды распределения площадей древостоев по относительным полнотам для каждого субъекта РФ. Статистические показатели относительных полнот рассчитывались по методу моментов (табл. 5). Объём выборки для каждого субъекта составлял 100 ед.

Оценка точности и изменчивости средней полноты по субъектам РФ по

данным ГИЛ и ГЛР приведена в табл. 5. Материалы пробных площадей ГИЛ показывают, что по РФ относительная полнота древостоев имеет высокую изменчивость равную 57,0 %. По обобщённым совокупностям средневзвешенных относительных полнот по площади в 69 субъектах РФ изменчивость принимает значение 47,5 % (21,6–103,9 %) по материалам ГИЛ и 27,1 % (2,4–30,9 %) по данным ГЛР (рис. 2).



Рис. 2. Оценка изменчивости относительной полноты древостоев в субъектах РФ по материалам ГИЛ

Fig. 2. Estimation of variability in the relative completeness of stands in constituent entities of the Russian Federation (based on SFI materials)

Таблица 5. Статистические показатели относительных полнот, вычисленных по материалам ГИЛ, ГЛР и субъектам РФ (фрагмент)

Table 5. Statistical indicators of the relative completeness of stands calculated on the basis of SFI and SFR materials with respect to constituent entities of the Russian Federation (fragment)

Регион	Статистические показатели относительной полноты								
	x_{cp}	σ	m_x	m_σ	V	m_V	P_x	m_p	n
ГИЛ									
Российская Федерация	0,62	0,355	0,035	0,025	57,0	5,2	5,7	0,52	100
Республика Алтай	0,58	0,342	0,034	0,024	58,9	5,4	5,9	0,54	100
Алтайский край	0,71	0,35	0,035	0,025	49,2	4,2	4,9	0,42	100
Амурская область	0,47	0,292	0,029	0,021	62,6	5,9	6,3	0,59	100
Архангельская область	0,74	0,339	0,034	0,024	46,1	3,9	4,6	0,39	100
Республика Башкортостан	0,78	0,321	0,032	0,023	40,9	3,3	4,1	0,33	100
Белгородская область	0,88	0,248	0,025	0,018	28,2	2,1	2,8	0,21	100
Брянская область	0,78	0,3	0,03	0,021	38,5	3,1	3,8	0,31	100
Республика Бурятия	0,56	0,325	0,032	0,023	58,1	5,3	5,8	0,53	100
Владимирская область	0,79	0,308	0,031	0,022	38,7	3,1	3,9	0,31	100
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,44	0,326	0,033	0,023	74,5	7,7	7,4	0,77	100
Ярославская область	0,75	0,277	0,028	0,02	36,8	2,9	3,7	0,29	100
ГЛР									
Российская Федерация	0,58	0,164	0,016	0,012	28,3	2,2	2,8	0,22	100
Республика Алтай	0,54	0,134	0,013	0,009	25	1,9	2,5	0,19	100
Алтайский край	0,59	0,157	0,016	0,011	26,5	2	2,6	0,2	100
Амурская область	0,5	0,145	0,014	0,01	28,7	2,2	2,9	0,22	100
Архангельская область	0,64	0,152	0,015	0,011	23,8	1,8	2,4	0,18	100
Республика Башкортостан	0,66	0,148	0,015	0,01	22,5	1,7	2,2	0,17	100
Белгородская область	0,7	0,098	0,01	0,007	14	1	1,4	0,1	100
Брянская область	0,69	0,119	0,012	0,008	17,3	1,3	1,7	0,13	100
Республика Бурятия	0,58	0,15	0,015	0,011	25,9	2	2,6	0,2	100
Владимирская область	0,71	0,116	0,012	0,008	16,4	1,2	1,6	0,12	100
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,46	0,118	0,012	0,008	25,7	1,9	2,6	0,19	100
Ярославская область	0,61	0,144	0,014	0,01	23,5	1,8	2,4	0,18	100

К факторам, влияющим на коэффициент изменчивости запаса древостоев по субъектам РФ, нужно отнести, в первую очередь, почвенно-климатические условия, продуктивность и производительность лесов, структуру, разнообразие и ход роста по таксационным показателям лесобразующих древесных пород, а при статистическом анализе количество рядов распределения в совокупности случайной выборки.

Результаты других исследователей подтверждают высокую изменчивость

относительных полнот и запасов древостоев. Например, В. В. Антанатис и И. В. Репшис в работе по обобщению опыта инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом показали, что изменчивость запаса в среднем равна 57,9 % [4].

И. И. Красиков установил, что распределение таксационных выделов лиственницы в Республике Тыва по относительной полноте подчиняется нормальному закону распределения. Средняя полнота приспевающих и старше древостоев равна 0,6 при

коэффициенте изменчивости 20,8–23,6 %. Максимальная относительная полнота с вероятностью 0,99 не выходит за пределы 0,88 [13].

Для березняков Красноярско-Ачинско-Канского лесостепного района изменчивость запаса в молодняках составляет 74,5 %, а в спелых и перестойных древостоях 23,0 %. Изменчивость относительной полноты не зависит от возраста и принимает значения 18,5–21,3 % [14].

Анализ материалов ГИЛ Кодинского лесничества Красноярского края на площади 77,2 тыс. га показал, что общий запас древостоев по материалам ГИЛ выше на 26,9 %, чем по материалам лесоустройства, в том числе по хвойному хозяйству изменение составило 27,5 %, а в мягколиственном – 23,6 % [15].

Анализ средних запасов на 1 га позволил установить, что по материалам ГИЛ в целом по лесным субъектам РФ запас выше на 31,3 % в сравнении с данными ГЛР по состоянию на 01.01.2023 года (рис. 3).

Наибольшее различие средних запасов установлено в Свердловской области (50,2 %) и Пермском крае (44,2 %), наименьшее (7,1 %) – в Республике Тыва и 14,3 % в Республике Татарстан. Отме-

чены три случая, когда запасы на 1 га по ГИЛ меньше или равны по материалам ГЛР. Так, в Ямало-Ненецком АО запас на 1 га меньше на 5,1 %, Республике Алтай на 2,2 %, а в Мурманской области отклонений нет.

Такое различие по относительной полноте и запасу, определённом при глазомерной таксации лесов, подтверждается и многими публикациями, ряд авторов показывают, что запас по материалам ГЛР ниже на 15–40 %, чем фактический [4–6, 16–18].

Анализ результатов вычислительного эксперимента при инвентаризации лесов Учебно-опытного лесничества ПГТУ показал, что изменчивость таксационных показателей в стратах снижается с увеличением возраста и принимает характеристики от очень большой (50–80 %) в молодняках до умеренной в спелых древостоях (11 %) [19].

Проверка гипотезы о равенстве средних значений относительных полнот, вычисленных по материалам ГИЛ, ГЛР и субъектам РФ (табл. 6), выполнялась с использованием *t*-критерия существенности различия с доверительной вероятностью 0,99 и 0,95 [12].

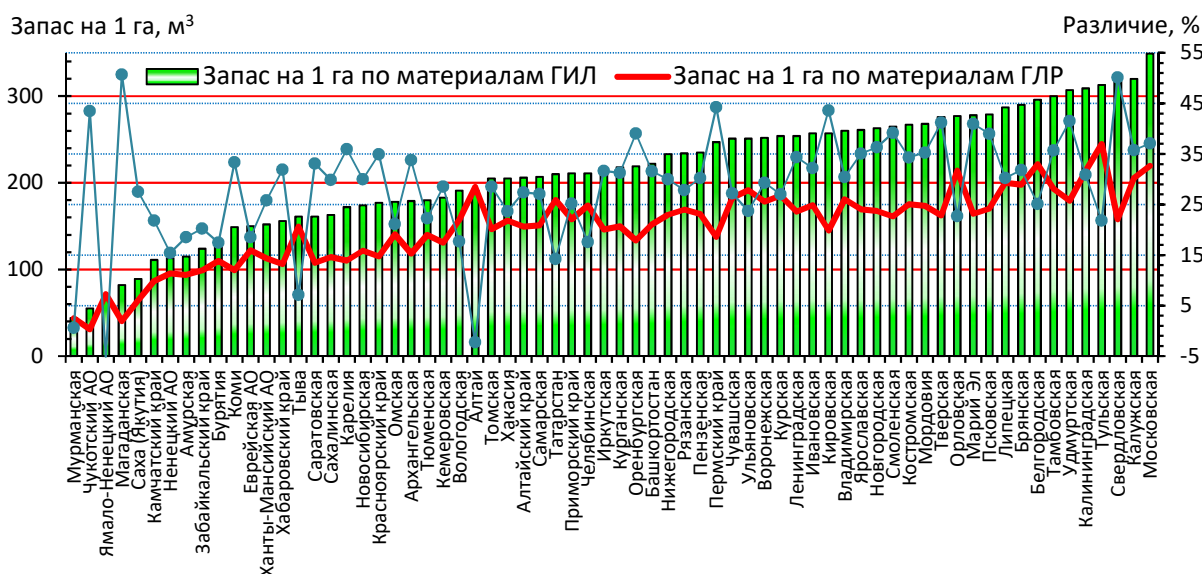


Рис 3. Сравнение средних запасов на 1 га по данным ГИЛ и ГЛР
Fig 3. Comparison of the average growing stock per hectare according to SFI and SFR data

Таблица 6. Проверка гипотезы о равенстве средних значений относительных полнот, вычисленных по материалам ГИЛ, ГЛР и субъектам РФ

Table 6. Testing of the hypothesis on the equality of relative completeness averages calculated on the basis of SFI and SFR materials with respect to constituent entities of the Russian Federation

Субъект РФ	Относительная полнота		Вычисленные значения t -критерия существенности различия относительных полнот по субъектам РФ			
			$t_{198;0,975}=1,97$		$t_{198;0,995}=2,60$	
	ГИЛ	ГЛР	$p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	$p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	$p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	$p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$
Российская Федерация	0,62	0,58	0,93	–	0,93	–
Республика Алтай	0,58	0,54	0,91	–	0,91	–
Алтайский край	0,71	0,59	–	2,68	–	2,68
Амурская область	0,47	0,50	-0,72	–	-0,72	–
Архангельская область	0,74	0,64	–	2,36	–	2,36
Республика Башкортостан	0,78	0,66	–	3,31	–	3,31
Белгородская область	0,88	0,70	–	6,06	–	6,06
Брянская область	0,78	0,69	–	2,61	–	2,61
Республика Бурятия	0,56	0,58	-0,39	–	-0,39	–
Владимирская область	0,79	0,71	–	2,5	–	2,5
Вологодская область	0,73	0,67	1,41	–	1,41	–
Воронежская область	0,80	0,68	–	2,84	–	2,84
Еврейская автономная область	0,61	0,52	1,79	–	1,79	–
Забайкальский край	0,56	0,54	0,44	–	0,44	–
Ивановская область	0,77	0,65	–	3,39	–	3,39
Иркутская область	0,67	0,62	1,13	–	1,13	–
Калининградская область	0,88	0,70	–	4,6	–	4,6
Республика Калмыкия	1,04	0,66	–	9,94	–	9,94
Калужская область	0,88	0,71	–	4,41	–	4,41
Камчатский край	0,51	0,55	-0,66	–	-0,66	–
Республика Карелия	0,73	0,64	–	2,15	–	2,15
Кемеровская область	0,61	0,56	0,98	–	0,98	–
Кировская область	0,79	0,73	1,46	–	1,46	–
Республика Коми	0,69	0,59	–	2,19	–	2,19
Костромская область	0,79	0,70	–	2,56	–	2,56
Красноярский край	0,60	0,59	0,36	–	0,36	–
Курганская область	0,79	0,69	–	2,85	–	2,85
Курская область	0,86	0,68	–	4,84	–	4,84
Ленинградская область	0,84	0,67	–	3,79	–	3,79
Липецкая область	0,88	0,69	–	4,99	–	4,99
Магаданская область	0,55	0,41	–	2,22	–	2,22
Республика Марий Эл	0,86	0,65	–	5,36	–	5,36
Республика Мордовия	0,79	0,69	–	2,87	–	2,87
Московская область	0,92	0,66	–	6,28	–	6,28
Мурманская область	0,43	0,46	-0,54	–	-0,54	–
Ненецкий автономный округ	0,63	0,61	0,43	–	0,43	–
Нижегородская область	0,76	0,70	1,56	–	1,56	–
Новгородская область	0,78	0,66	–	3,35	–	3,35
Новосибирская область	0,67	0,59	1,79	–	1,79	–
Омская область	0,71	0,66	1,23	–	1,23	–
Оренбургская область	0,74	0,65	–	2,25	–	2,25
Орловская область	0,77	0,67	–	2,86	–	2,86
Пензенская область	0,76	0,70	1,81	–	1,81	–
Пермский край	0,70	0,66	1,28	–	1,28	–
Приморский край	0,69	0,59	–	2,54	–	2,54
Псковская область	0,77	0,66	–	2,94	–	2,94
Рязанская область	0,69	0,67	0,4	–	0,4	–

Окончание таблицы 6

Субъект РФ	Относительная полнота		Вычисленные значения t -критерия существенности различия относительных полнот по субъектам РФ			
			$t_{198;0,975}=1,97$		$t_{198;0,995}=2,60$	
	ГИЛ	ГЛР	$p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	$p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	$p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	$p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$
Самарская область	0,68	0,63	1,43	–	1,43	–
Саратовская область	0,71	0,66	1,32	–	1,32	–
Республика Саха (Якутия)	0,52	0,53	-0,14	–	-0,14	–
Сахалинская область	0,68	0,54	–	2,94	–	2,94
Свердловская область	0,81	0,69	–	3,24	–	3,24
Смоленская область	0,79	0,69	–	2,61	–	2,61
Тамбовская область	0,85	0,72	–	3,87	–	3,87
Республика Татарстан	0,73	0,66	1,69	–	1,69	–
Тверская область	0,84	0,70	–	3,82	–	3,82
Томская область	0,73	0,60	–	3,13	–	3,13
Тульская область	0,91	0,70	–	5,67	–	5,67
Республика Тыва	0,59	0,53	1,22	–	1,22	–
Тюменская область	0,72	0,60	–	2,75	–	2,75
Республика Удмуртия	0,81	0,70	–	2,9	–	2,9
Ульяновская область	0,75	0,69	1,69	–	1,69	–
Хабаровский край	0,60	0,54	1,15	–	1,15	–
Республика Хакасия	0,70	0,58	–	2,66	v	2,66
Ханты-Мансийский АО	0,62	0,56	1,29	–	1,29	–
Челябинская область	0,68	0,65	0,81	–	0,81	–
Республика Чувашия	0,76	0,67	–	2,5	2,5	–
Чукотский АО	0,43	0,41	0,32	–	0,32	–
Ямало-Ненецкий АО	0,44	0,46	-0,36	–	-0,36	–
Ярославская область	0,75	0,61	–	3,92	–	3,92

Расчёт t -критерия проводился по формуле:

$$t_{st} = \frac{p_{\text{гил}} - p_{\text{глр}}}{\sqrt{\frac{(n_1-1) \cdot s_1^2 + (n_2-1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (7)$$

где $p_{\text{гил}}$ и $p_{\text{глр}}$ – относительные полноты, рассчитанные по данным ГИЛ и ГЛР, ед.; n_1 – объём выборки по материалам ГИЛ, шт.; n_2 – объём выборки по материалам ГЛР, шт.; s_1^2 – дисперсия относительной полноты, вычисленная по материалам ГИЛ, шт.; s_2^2 – дисперсия относительной полноты, вычисленная по материалам ГЛР, шт.; t_{st} – критерий существенности различий средних значений, ед.

Выдвинутая гипотеза H_0 : $p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$ о равенстве средних значений относительных полнот по субъектам РФ (табл. 6, 7 и рис. 3) принимается в том случае, когда $(|t_{st}| < t_{n_1+n_2-2; \alpha/2})$ вычисленный критерий

существенности различий средних значений меньше, чем табличное на принятом уровне значимости α с $m = (n_1 + n_2 - 2)$ степенями свободы. Гипотеза H_0 о равенстве средних значений относительных полнот отвергается, если $|t_{st}| > t_{n_1+n_2-2; \alpha/2}$, и принимается альтернативная H_a : $p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$.

Результаты расчётов значений t -критерия существенности различия относительных полнот по данным ГИЛ и ГЛР приведены по субъектам РФ на двух уровнях значимости (см. табл. 7). Выяснилось, что средние относительные полноты в 30 регионах существенно не различаются на уровне значимости $\alpha = 0,05$, нулевая гипотеза принимается, а в остальных 39 субъектах РФ принимается альтернативная H_a : $p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$. При повышении уровня значимости до $\alpha = 0,01$ в 39 регионах относительные полноты существенно не различаются, в том числе по РФ в целом так как $|t_{st}| < 2,60_{198;0,01}$ (табл. 7 и рис. 4).

Таблица 7. Результаты проверки гипотезы о равенстве средних значений относительных полнот по субъектам РФ, вычисленных по материалам ГИЛ и ГЛР

Table 7. Results of testing the hypothesis on the equality of relative completeness averages calculated on the basis of SFI and SFR materials with respect to constituent entities of the Russian Federation

Гипотеза о равенстве средних значений относительных полнот, вычисленных по материалам ГИЛ и ГЛР	Количество объектов, ед.		Уровень значимости α , ед.
	субъектов РФ	РФ	
$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	30	1	0,05
$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	39	—	0,05
Итого	69	1	
$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	39	1	0,01
$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	30	—	0,01
Итого	69	1	



Рис. 4. Существенность различий средних значений относительных полнот древостоев по субъектам РФ, вычисленных по материалам ГИЛ и ГЛР

Fig. 4. Significance of differences in the average values of the relative completeness of stands in constituent entities of the Russian Federation (based on SFI and SFR data)

Вычисленные числовые значения относительной полноты после исключения выбросов из выборочной совокупности по критерию Томпсона и существенности

различия между средними значениями по t -критерию приведены в табл. 8. Отметим, что объём анализируемой выборки для каждого субъекта РФ составлял 100 ед.

Таблица 8. Основные статистики относительной полноты после исключения резко выделяющихся наблюдений из выборочной совокупности по критерию Томпсона и существенности различия между средними значениями, вычисленными по материалам ГИЛ и ГЛР

Table 8. Basic statistics of the relative completeness of stands after removing the outliers of the observation data from the sampling population using the Thompson's criterion, and the significance of the difference between the average values computed on the basis of SFI and SFR materials

Выборочная совокупность	Статистическая гипотеза	Статистические показатели		
		полнота, ед.	точность оценки, %	коэффициент изменчивости, %
Экспериментальные данные				
РФ, ГИЛ	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,622	6,4	63,7
РФ, ГЛР	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,577	4,8	47,8
СФ, ГИЛ	Всего	0,719	5,3	52,6
СФ, ГИЛ	$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	0,791	4,3	43,1
СФ, ГИЛ	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,626	6,5	64,9
СФ, ГЛР	Всего	0,626	3,8	37,7
СФ, ГЛР	$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	0,652	3,2	31,9
СФ, ГЛР	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,592	4,5	45,4
С учётом правила Томпсона на уровне значимости $\alpha=0,05$				
РФ, ГИЛ	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,589	6,5	63,8
РФ, ГЛР	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,577	4,8	47,8
СФ, ГИЛ	Всего	0,701	5,2	50,6
СФ, ГИЛ	$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	0,776	4,0	39,2
СФ, ГИЛ	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,602	6,6	65,4
СФ, ГЛР	Всего	0,628	3,7	37,1
СФ, ГЛР	$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	0,655	3,1	31,2
СФ, ГЛР	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,593	4,5	45,1
С учётом правила Томпсона на уровне значимости $\alpha=0,01$				
РФ, ГИЛ	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,606	6,4	63,2
РФ, ГЛР	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,577	4,8	47,8
СФ, ГИЛ	Всего	0,708	5,2	51,6
СФ, ГИЛ	$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	0,780	4,2	41,5
СФ, ГИЛ	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,613	6,5	64,7
СФ, ГЛР	Всего	0,627	3,8	37,5
СФ, ГЛР	$H_a: p_{\text{гил}} \neq p_{\text{глр}}$	0,653	3,2	31,7
СФ, ГЛР	$H_0: p_{\text{гил}} = p_{\text{глр}}$	0,592	4,5	45,3

Так, для субъектов РФ, где различия в относительных полнотах статистически не доказаны, применение правила Томпсона на уровне значимости 0,05 ед. показывает смещение средних значений относительной полноты на 14,0 % по данным ГИЛ и на 5,6 % по материалам ГЛР. В тех субъектах РФ, где различия в относительных полнотах статистически существенны на уровне значимости 0,05, оценка средних полнот выше на 10,8 % по данным ГИЛ и на 4,2 % по материалам ГЛР. Границы и средние значения погрешностей опреде-

ления относительной полноты с учётом правила Томпсона более выражены на уровне значимости 0,05. При этом различия абсолютных значений относительных полнот, вычисленных по материалам ГИЛ на уровне значимости 0,05, и исходной выборки по РФ составляют 5,3 %.

Для выявления конкретных значений относительной полноты, полученных по материалам ГИЛ и ГЛР, воспользуемся эмпирической функцией распределения вероятностей в виде кумуляты (рис. 5) и представим их математические модели.

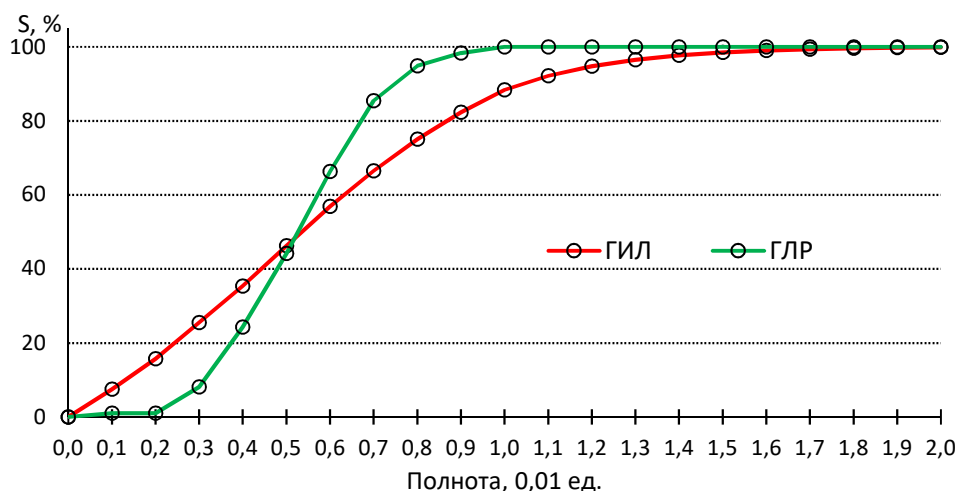


Рис. 5. Кумулята распределения площади покрытых лесом земель по ступеням относительных полнот по материалам ГИЛ и ГЛР для 69 субъектов РФ с доверительной вероятностью 0,95

Fig. 5. Cumulative curve of the distribution of forested land area by relative completeness degree, based on SFI and SFR data, for 69 constituent entities of the Russian Federation (confidence level = 0.95)

Модели кумуляты площадей (%) по классам относительных полнот (p) для 69 субъектов РФ:

1) по материалам ГИЛ

$$n^{\text{ГИЛ}} = 100 \cdot [1 - \exp(-1,726 \cdot p)^{p^{1,2322}}], \quad (8)$$

$$R^2 = 0,999$$

где p – значение относительной полноты, $p = 0,1; 0,2 \dots 2,0$ ед.; $n^{\text{ГИЛ}}$ – сумма накопленных частот, %.

2) по материалам ГЛР

$$n^{\text{ГЛР}} = 100 \cdot [1 - \exp(-5,1887 \cdot p)^{p^{3,0110}}]. \quad (9)$$

$$R^2 = 0,998$$

Модели имеют высокий коэффициент детерминации, зависимость между относительной полнотой и суммой накопленных частот очень высокая. Табулированные значения кумуляты по полноте с шагом 0,01, полученные по вышеприведённым моделям, позволили определить числовые значения относительной полноты. Так, при достижении кумуляты 50,0 % значение относительной полноты по материалам ГИЛ равно 0,665, а по материалам ГЛР – 0,606 ед. Отметим, что средневзвешенное значение полноты по обобщённым эмпирическим частотам по материалам ГИЛ составляет 0,622, а по материалам ГЛР – 0,577 ед. Следовательно, эмпирические

различия между значениями относительной полноты, вычисленные по данным ГИЛ и ГЛР в целом по 69 субъектам РФ, составляют 7,2 %.

Всесторонний статистический анализ материалов 57,5 тыс. ППП ГИЛ позволил определить, что точность оценки средних относительных полнот по 69 субъектам РФ принимает значения в пределах от 0,2 до 3,6 %, а оценка средней относительной полноты древостоев по РФ в целом равна 0,2 %. Точность оценки относительной полноты по материалам ГЛР находится в интервале от 0,1 до 1,0 % для субъектов РФ, а по РФ в целом равна $\pm 0,1$ %.

Для определения доли недоучтённого запаса древесины при нормативном ограничении величины относительной полноты методом объёмных таблиц были вычислены запасы древесины на ППП ГИЛ. В тех ППП, в которых относительная полнота превышала 1,0, запасы, по региональным стандартным таблицам, были приведены к полноте 1,0. В разрезе субъектов РФ и в целом по всему массиву вычислены средние запасы на 1 га и определены доли разницы между исходным результатом и приведённым к полноте 1,0. Разница приведена на рис. 6.

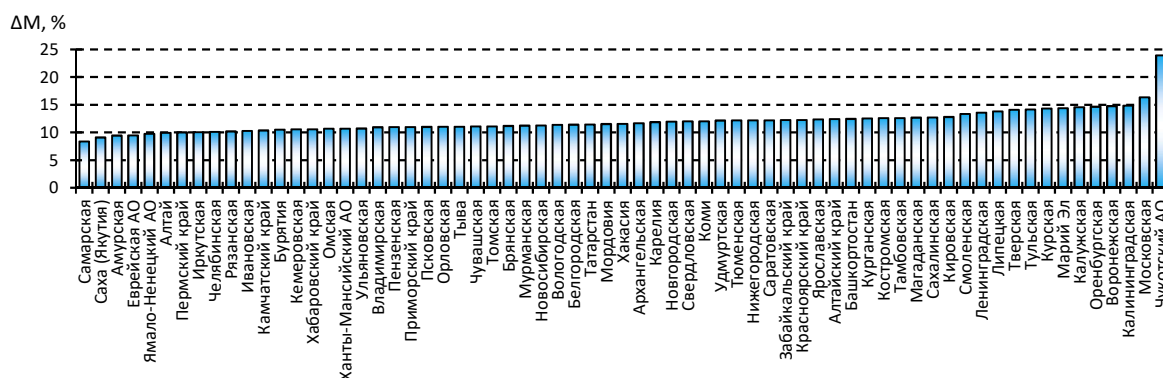


Рис. 6. Доля разницы между запасом на 1 га, вычисленным по методу объёмных таблиц и запасом, ограниченным полнотой 1,0 по стандартным таблицам

Fig. 6. Percentage of the difference between the growing stock per hectare calculated using the volume table method and the growing stock limited by the normality level of 1.0 in conformity with the standard tables

Средний запас на 1 га, вычисленный методом объёмных таблиц, по большинству субъектов превышает на 10–15 % по сравнению с запасом, ограниченным по полноте до 1,0, максимальные превышения 23,9 % в Чукотском АО и 16,3 % в Московской области, наименьшие – 8,3 и 9,1 % (Самарская область и Республика Саха (Якутия), в среднем (средневзвешенное от площади) – 10,9 % (рис. 6).

Указанные отклонения по запасу можно считать объективным фактором, влияющим на величину недоучтённого запаса древесины при производственной таксации лесов, связанных с нормативным ограничением относительной полноты до 1,0.

Как показывают результаты первого цикла работ по государственной инвентаризации лесов, 10,9 % лесов имеют полноту более единицы.

Представление о том, что древостой с полнотой 1,0 – это древостой с максимально возможным запасом, приводит к тому, что при производственной таксации специалисты на подсознательном уровне сравнивают таксируемый древостой с максимально загущённым, встретившимся им в регионе лесоустроительных работ. Это приводит к тому, что весь ряд полнот за счёт субъективного фактора смещается в сторону занижения.

Обобщая вышесказанное, отметим, что общий процент недоучтённого запаса древесины составил 31,3 %, а по объективным

причинам, связанным с нормативным ограничением величины полноты, – 10,9 %, то можно предположить, что по субъективным причинам величина недоучтённой древесины при производственной таксации составляет 20,4 %.

Данные ГИЛ основаны на перечислительно-измерительных способах таксации. Расчётный объём случайной выборки обеспечивает статистическую целевую погрешность определения общего запаса древесины по РФ $\pm 1\%$ с доверительной вероятностью 0,95, а по лесным районам в зависимости от процента лесистости от ± 1 до $\pm 10\%$ (преимущественно от ± 1 до $\pm 5\%$). По завершению первого цикла работ расчётная погрешность определения запаса древесины не превысила целевую [6].

На основе изложенного можно сделать вывод о том, что одна из основных причин более низкого запаса древесины по данным ГЛР, по отношению к запасам, определённым в ходе работ ГИЛ, связана с систематическим занижением относительной полноты, соответственно и запаса, при таксации лесов в ходе выполнения лесоустроительных работ.

Выводы. По результатам математико-статистического анализа материалов ППП первого цикла ГИЛ и данных ГЛР на 01.01.2023 выявлено следующее.

1. На основе измерений таксационных показателей древостоев по ярусам

и элементам леса на 97 ППП в Республике Марий Эл установлено: а) в случайных выборочных совокупностях по таксационным показателям с использованием критерия Аббе на уровне значимости $\alpha = 0,01$ и $\alpha = 0,05$ систематических погрешностей не обнаружено; б) на уровне значимости $\alpha = 0,05$ ед. по правилу Томпсона установлено, что таксационные характеристики имеют резко выделяющиеся значения на пяти ППП из 97.

2. Статистическая обработка материалов 97 пробных площадей показала, что точность оценки средних значений запаса по общей совокупности ПП составляет 8,2 %, а средняя точность по элементам леса 15,0 %. Таким образом, для сравнительной оценки таксационных показателей древостоев на различных территориальных уровнях можно использовать обобщающие выборочные совокупности и их статистики, в том числе показатели полноты и запаса древостоев с заданной точностью.

3. В целом по обобщённым совокупностям средневзвешенных относительных полнот древостоев по площади в 69 субъектах РФ изменчивость принимает значение 47,5 % (21,6–103,9 %) по материалам ГИЛ и 27,1 % (2,4–30,9 %) по данным ГЛР.

4. Существенность различия относительных полнот по данным ГИЛ и ГЛР приведена по субъектам РФ на двух уровнях

значимости. Установлено, что средние относительные полноты в 30 регионах существенно не различаются на уровне значимости $\alpha = 0,05$, а в остальных 39 субъектах РФ различия существенны.

5. Границы и средние значения погрешностей определения относительной полноты с учётом правила Томпсона более выражены на уровне значимости 0,05. При этом различия абсолютных значений относительных полнот, вычисленных по материалам ГИЛ на уровне значимости 0,05 и исходной выборки, по РФ составляют 5,3 %.

6. Основной причиной расхождения запасов, полученных по данным ГЛР и ГИЛ, является нормативное, не выше 1,0 ограничение относительной полноты древостоев, что приводит к недоучёту запаса древесины на 10,9 % и связанное с этим ограничением систематическое занижение запаса при таксации высокополнотных древостоев на 20,4 % в ходе лесоустроительных работ.

7. Статистический анализ агрегированных материалов 57 500 ППП ГИЛ позволил определить, что точность оценки средних относительных полнот древостоев по 69 субъектам РФ принимает значения в пределах от 0,2 до 3,6 %, а по данным ГЛР – от 0,1 до 1,0 %. В целом для РФ по материалам ГИЛ точность определения запаса древостоев равна 0,25 % и относительной полноты 0,2 %.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Богословский С. А., Зиновьев В. П. Статистический метод учёта лесных ресурсов. М.-Л.: Гос. лесное техн. изд-во, 1932. 120 с.

2. Гусев Н. Н. Статистические методы лесоучётных работ в СССР и за рубежом: обзорная информация. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1979. 45 с.

3. Анализ зарубежного опыта национальных инвентаризаций лесов: методы, выборка, результаты и международная статистика / Н. В. Малышева, А. Н. Филиппчук, Т. А. Золина и др. // Лесохозяйственная информация. 2022. № 2. С. 90–132. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.2.08; EDN: UKEGFS

4. Антанайтис В. В., Репишис И. Н. Опыт инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом. М: Лесная промышленность, 1973. 104 с.

5. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов Российской

Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов / А. Н. Филиппчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина и др. // Лесохозяйственная информация. 2022. № 1. С. 5–34. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.01; EDN: DWYGQL

6. Анализ результатов первого цикла государственной инвентаризации лесов и предложений по совершенствованию методики её проведения во втором цикле / А. М. Бердов, С. В. Фёдоров, А. А. Приставка и др. // Лесохозяйственная информация. 2020. № 3. С. 67–80. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.06; EDN: AEHDDD

7. Growing stock monitoring by European National Forest Inventories: Historical origins, current methods and harmonization / T. Gschwantner, I. Alberdi, S. Bauwens et al. // Forest Ecology and Man-

agement. 2022. Vol. 505. Art. 119868. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119868

8. The role of European National Forest Inventories for international forestry reporting / C. Vidal, I. Alberdi, J. Redmond et al. // *Annals of Forest Science*. 2016. Vol. 73. Iss. 4. Pp. 793–806. DOI: 10.1007/s13595-016-0545-6

9. Waggoner P. E. Forest Inventories: Discrepancies and Uncertainties. Discussion Paper. Washington: Resources for the Future. 2009. 42 p. URL: <http://www.rff.org/RFF/Documents/RFF-DP-09-29.pdf> (дата обращения: 10.01.2024).

10. Precision of exogenous post-stratification in small-area estimation based on a continuous national forest inventory / H. Naakana, J. Heikkinen, M. Katila et al. // *Canadian Journal of Forest Research*. 2020. Vol. 50. No 4. Pp. 359–370. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0139

11. The Second National Forest Inventory, Republic of Ireland. Main Findings. Covering the National Forest Inventory, 2009 to 2012. Forest Service. Department of Agriculture, Food and the Marine. Johnstown Castle Estate, Co. Wexford, Ireland. 2013. 54 p. URL: <http://www.medpartnership.com/wp-content/uploads/2018/07/The-Second-National-Forest-Inventory-Main-Findings.pdf> (дата обращения: 10.01.2024).

12. Muller P. H., Neumann P., Storm R. *Tafeln der mathematischen Statistik*. Leipzig: Fachbuchverlag, 1979. 276 p.

13. Красиков И. И. Строение лесного массива Каа-Хемского района Республики Тыва по полноте

древостоев // *Лесная таксация и лесоустройство*. 2008. № 2 (40). С. 57–61. EDN: RUSFLX

14. Ефремова М. Н., Шевелев С. Л. Особенности строения лесных массивов в Красноярско-Ачинско-Канском лесостепном районе // *Хвойные бореальной зоны*. 2016. Т. 34, № 5–6. С. 298–302. EDN: YTBFRX

15. 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. EDN: TDQEW

16. Федосимов А. Н., Чуенков В. С., Копытов Ю. В. Математико-статистический метод учёта лесного фонда // *Сб. работ по лесному хозяйству ВНИИЛМ*. Вып. 53. М.: ВНИИЛМ, 1971. С. 74–85.

17. Филичук А. Н., Моисеев Б. Н., Югов А. Н. Сравнительная оценка статистических данных о запасах древостоев в лесах Российской Федерации // *Лесохозяйственная информация*. 2017. № 2. С. 16–25. DOI: 10.24419/LHI.2304–3083.2017.2.02; EDN: YLSNVC

18. Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Что мы знаем о лесах России сегодня? // *Лесная таксация и лесоустройство*. 2011. № 1–2(45–46). С. 154–173. EDN: RPCOXN

19. Черных В. Л., Бессчётнов В. П., Вдовин Е. С. Динамика лесных страт и точность оценки запаса на примере инвентаризации лесов Учебно-опытного лесничества Республики Марий Эл // *Вестник Марийского государственного технического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 10–16. EDN: OPFDBV

Статья поступила в редакцию 10.02.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024; принята к публикации 25.03.2024

Информация об авторах

ЧЕРНЫХ Валерий Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – проблемы таксации леса, лесоустройства, математического моделирования и ГИС-технологий. Автор 260 научных публикаций. ORCID: 0000-0002-3620-8300; SPIN-код: 3218-2031

ПОВАРОВ Евгений Дмитриевич – инженер лесного хозяйства, Рослесинфорг. Область научных интересов – лесоустройство, лесная таксация, ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Автор двух научных публикаций.

ФЁДОРОВ Станислав Витальевич – начальник Управления государственной инвентаризации и учёта лесов, Рослесинфорг. Область научных интересов – лесоустройство, лесная таксация, ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Автор пяти научных публикаций.

ЧЕРНЫХ Леонид Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – таксация леса, лесоустройство, лесовосстановление, аэрокосмические методы ГИС-технологий. Автор 30 научных публикаций. SPIN-код: 1832-1470

ЧЕРНЫХ Дмитрий Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоустройство, лесная таксация, аэрокосмические методы и ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Автор 28 научных публикаций. SPIN-код: 1830-6301

ФОМИН Антон Сергеевич – аспирант, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоустройство, лесная таксация, ГИС-технологии в лесном хозяйстве. Автор пяти научных публикаций.

Вклад авторов:

Черных В. Л. – научное руководство; концепция исследования; методология исследования, составление статьи; статистический анализ; окончательное утверждение версии для публикации.

Поваров Е. Д. – участие в разработке методики и её реализации; информационный поиск; проведение статистического анализа; подготовка исходного текста.

Фёдоров С. В. – участие в разработке методики и её реализации, проверка данных и результатов статистического анализа.

Черных Л. В. – участие в полевых работах, реализации методики исследований; информационный поиск; редактирование текста.

Черных Д. В. – участие в реализации методики исследований; информационный поиск.

Фомин А. С. – участие в сборе экспериментальных данных, визуализация результатов исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630.9

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.6>

EDN: INDOJL

**State Forest Inventory in the Russian Federation:
Variability and Accuracy of the Growing Stock Estimation**

V. L. Chernykh^{1✉}, E. D. Povarov², S. V. Fedorov², L. V. Chernykh¹, D. V. Chernykh¹, A. S. Fomin¹

¹ Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

² Roslesinforg,

45, Volgogradsky Prosp., bld.1, Moscow, 109316, Russian Federation

ChernyhLV@volgatech.net^{1✉}

ABSTRACT

Introduction. Sustainable forest management in any country is impossible without up-to-date and reliable forest data. At present, one of the methods of forest resource accounting is the state forest inventory (SFI) based on the point estimates of data collected from permanent sample plots (PSPs). The first cycle of SFI in Russia ended in 2020. The large amount of the growing stock data obtained by using the sample method requires in-depth analysis. **The purpose of the work** is to assess the variability and accuracy of the average values of the relative completeness of stands and the growing stock volume on the basis of PSP materials, as well as identify the causes of discrepancies between the relative completeness and growing stock estimates calculated on the basis of data provided by the State Forest Register (SFR) and the materials of the first cycle of SFI carried out in 69 constituent entities of the Russian Federation.

Objects and methods. The object of the study was the forests of the Russian Federation. The research was based on the SFR materials as of January 1, 2023 and the results of measuring 57.5 thousand PSPs laid down in compliance with the SFI methodology. The sample data were analyzed using the Abbe criterion, the Thompson's rule, t-distribution, cumulative curves, and regression models. **Results.** Tests for homogeneity of the SFI PSP taxation indices were performed along with testing the hypothesis on the equality of the relative completeness averages computed on the basis of SFI and SFR materials using the t-test for statistical significance of the difference at a significance level of 0.05. The causes of discrepancies between the growing stock estimates based on the SFR and SFI data were explained. **Conclusions.** On the whole, for the generalized aggregates of the relative completeness area-weighted averages in 69 constituent entities of the Russian Federation, variability is 47.5 % (21.6-103.9 %) according to the SFI data and 27.1 % (2.4-30.9 %) according to the SFR data. For 30 Federal subjects of Russia, the relative completeness estimates based on the SFI and SFR data do not differ significantly at a significance level of $\alpha=0.05$, while for the remaining 39 Federal subjects, such differences have been statistically proven. The accuracy of the relative completeness estimation by constituent entity of the Russian Federation has been determined. It ranges from 0.2 to 3.6 % according to the SFI PSP data, and from 0.1 to 1.0 % according to the SFR data. For the Russian Federation in general, based on the SFI data, the accuracy of the growing stock volume estimates is 0.25 % and the accuracy of the relative completeness estimates is 0.20 %.

Keywords: forest inventory; permanent sample plots; taxation; statistics; sampling population; stock; cumulative curve; Abbe criterion; Thompson's rule

REFERENCES

1. Bogoslovsky S. A., Zinoviev V. P. Statistical method of forest resources inventory. Moscow; Leningrad: Goslestehizdat, 1932. 120 p. (In Russ.).
2. Gusev N. N. Statistical methods of forest accounting in the USSR and abroad: Overview information. Moscow: TsBNTI Gosleshoza USSR (Central Bureau Sci. Techn. Inform. St. For. USSR), 1979. 45 p. (In Russ.).
3. Malysheva N. V., Filipchuk A. N., Zolina T. A. et al. Analysis of foreign experience in national forest inventories: methods, sampling, results and international statistics. *Forestry Information*. 2022. No 2. Pp. 90–132. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.2.08; EDN: UKEGFS (In Russ.).
4. Antanaitis V. V., Repshis I. N. Experience of Forest Inventory in Lithuania by the Mathematical-Statistical Method. Moscow: Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1973. 104 p. (In Russ.).
5. Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A. et al. Analytical review of the quantitative and qualitative characteristics of forests in the Russian Federation: results of the first cycle of the state forest inventory. *Forestry Information*. 2022. No 1. Pp. 5–34. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.01; EDN: DWYGQL (In Russ.).
6. Berdov A. M., Fedorov S. V., Pristavko A. A. et al. Experience in conducting the GIL of the Russian Federation and improving the National forest inventory in the second cycle. *Forestry Information*. 2020. No 3. Pp. 67–80. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.06; EDN: AEHDDD (In Russ.).
7. Gschwantner T., Alberdi I., Bauwens S. et al. Growing stock monitoring by European National Forest Inventories: Historical origins, current methods and harmonization. *Forest Ecology and Management*. 2022. Vol. 505. Art. 119868. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119868
8. Vidal C., Alberdi I., Redmond J. et al. The role of European National Forest Inventories for international forestry reporting. *Annals of Forest Science*. 2016. Vol. 73. Iss. 4. Pp. 793–806. DOI: 10.1007/s13595-016-0545-6
9. Waggoner P. E. Forest Inventories: Discrepancies and Uncertainties. Discussion Paper. Washington: Resources for the Future, 2009. 42 p. URL: <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-09-29.pdf> (reference date: 10.01.2024).
10. Haakana H., Heikkinen J., Katila M. et al. Precision of exogenous post-stratification in small-area estimation based on a continuous national forest inventory. *Canadian Journal of Forest Research*. 2020. Vol. 50. No 4. Pp. 359–370. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0139
11. The Second National Forest Inventory, Republic of Ireland. Main Findings. Covering the National Forest Inventory, 2009 to 2012. Co. Wexford, Ireland: Forest Service. Department of Agriculture, Food and the Marine. Johnstown Castle Estate, 2013. 54 p. URL: <http://www.medpartnership.com/wp-content/uploads/2018/07/The-Second-National-Forest-Inventory-Main-Findings.pdf> (reference date: 10.01.2024).
12. Muller P. H., Neumann P., Storm R. Tafeln der mathematischen Statistik. Leipzig: Fachbuchverlag, 1979. 276 p. (In Germ.).
13. Krasikov I. I. The structure of the wooded area of the Kaa-Khemsy District in Tyva Republic in terms of the normality of forest stands. *Forest inventory and Forest Planning*. 2008. No 2 (40). Pp. 57–61. EDN: RUSFLX (In Russ.).
14. Efremova M. N., Shevelev S. L. Features of the structure of forest massifs in the Krasnoyarsk-Achinsk-Kansk Forest-Steppe Area. *Conifers of the Boreal Area*. 2016. Vol. 34. Iss. 5–6. Pp. 298–302. EDN: YTBFRX (In Russ.).
15. Farber S. K., Bryuhanov N. V. Mass Forest survey and state forest inventory: specification of the discrepancies, causes, analysis. *Siberian Journal of Forest Science*. 2014. No 5. Pp. 16–28. EDN: TDQWEP (In Russ.).
16. Fedosimov A. N., Chuenkov V. S., Kopytov Y. V. Mathematical and statistical method of forest fund accounting. *Collection of works on forestry of All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM)*. Iss. 53. Moscow: VNIILM Publ., 1971. Pp. 74–85. (In Russ.).
17. Filipchuk A. N., Moiseev B. N., Yugov A. N. Comparative Assessment of Statistics on Growing Stock in Forests of Russian Federation. *Forestry Information*. 2017. No 2. Pp. 16–25. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.2.02; EDN: YLSNVC (In Russ.).
18. Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. What do we know about Russian forests today? *Forest Inventory and Forest Planning*. 2011. No. 1–2 (45–46). Pp. 154–173. EDN: RPCOXN (In Russ.).
19. Chernykh V. L., Besschetnov V. P., Vdovin E. S. Forest stratum dynamics and wood stock estimation on the example of forest inventory of Mari El Republic Scientific-Experimental Forestry. *Vestnik of the Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Environmental management*. 2011. No 3. Pp. 10–16. EDN: OPFDBV (In Russ.).

The article was submitted 10.02.2024; approved after reviewing 10.03.2024;
accepted for publication 25.03.2024

For citation: Chernykh V. L., Povarov E. D., Fedorov S. V., Chernykh L. V., Chernykh D. V., Fomin A. S. State Forest Inventory in the Russian Federation: Variability and Accuracy of the Growing Stock Estimation. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2024. № 1 (61). Pp. 6–29 (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.6>; EDN: INDOJL

Information about the authors

Valerii L. Chernykh – Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Chair of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – problems of forest inventory, forest management, mathematical simulation and GIS-technologies. Author of 260 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8805-1253>; SPIN: 3218-2031

Evgeny D. Povarov – Forestry Engineer, Roslesinform. Research interests – forest management, forest taxation, GIS technologies in forestry. Author of two scientific publications.

Stanislav V. Fedorov – Head of the Department of State Forest Inventory and Accounting, Roslesinform. Research interests – forest management, forest inventory, GIS technologies in forestry. Author of five scientific publications.

Leonid V. Chernykh – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chair of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – forest taxation, forest management, reforestation, aerospace methods of GIS technologies. Author of 30 scientific publications. SPIN: 1832-1470

Dmitrii V. Chernykh – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chair of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. Research interests – forest management, forest inventory, aerospace methods and GIS technologies in forestry. Author of 28 scientific publications. SPIN: 1830-6301

Anton S. Fomin – Graduate student, Volga State University of Technology. Research interests – forest management, forest taxation, GIS technologies in forestry. Author of five scientific publications.

Contribution of the authors:

Chernykh V. L. – scientific guidance; research concept; research methodology, drafting the article; statistical analysis; approval of the final version of the manuscript for publication.

Povarov E. D. – participation in methodology development and implementation; information search; conducting statistical analysis; preparation of the initial draft of the manuscript.

Fedorov S. V. – participation in methodology development and implementation; verification of data and statistical analysis results.

Chernykh L. V. – participation in the field work, research methodology implementation; information search; text reviewing and editing.

Chernykh D. V. – participation in the research methodology implementation; information search; text reviewing and editing.

Fomin A. S. – participation in experimental data collection, visualization of research results.

The authors declare that they have no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.