

УДК 630\*524.34/61

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ДРЕВЕСИНЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ГИЛ И ЛЕСОУСТРОЙСТВА

И. Д. Махатков<sup>1</sup>, В. А. Куделя<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2*

<sup>2</sup> *Западно-Сибирский филиал ФГБУ «Рослесинфорг» «Запсиблеспроект»  
630048, Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 137/1*

E-mail: makhatkov@issa-siberia.ru, zapsib.lp@roslesinforg.ru

Поступила в редакцию 27.07.2018 г.

Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) проводится в России с 2007 г. Методика ГИЛ включает стратификацию насаждений и ограничение площади закладки пробных площадей (ПП). Планирование ГИЛ большей частью основано на материалах лесоустройства (ЛУ), проводившегося ранее. При этом расхождения в оценке запасов древесины по результатам ГИЛ и ЛУ и методика ГИЛ являются предметом широкого обсуждения. Рассмотрены базовые статистики материалов ГИЛ и ЛУ Уватского лесничества Тюменской области. Характерной особенностью оценок запасов по ГИЛ и ЛУ является сильная асимметрия их частот распределения, что делает неэффективной параметрическую оценку точности определения запасов в обоих случаях. Показано, что ограничение площади закладки ПП не оказало большого влияния на итоговую оценку запасов. Предпринята попытка оценить ошибку оценки запасов методами непараметрической статистики с использованием ресэмплинга – генерирования множества псевдовыборок. Применение ресэмплинга ПП ГИЛ и таксационных описаний ЛУ в точках ГИЛ позволило определить зависимость точности от количества ПП и величину внутривидельного варьирования запасов древесины, которая не зависела от количества ПП и оказалась значительно выше предусмотренной в методике проектирования ГИЛ. Генерирование псевдовыборок ПП на плане лесонасаждений с учетом полученных величин внутривидельного варьирования позволило определить предполагаемую динамику точности определения запасов с увеличением ПП. Недооценка внутривидельного варьирования запасов древесины отчасти объясняет большую разницу оценки запасов по материалам ГИЛ и ЛУ. Показано слабое влияние применяемой стратификации насаждений на точность результатов ГИЛ.

**Ключевые слова:** государственная инвентаризация лесов (ГИЛ), пробная площадь, статистика, ресэмплинг, ошибка лесоинвентаризации, Уватское лесничество, Тюменская область, Россия.

DOI: 10.15372/SJFS20180602

### ВВЕДЕНИЕ

Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) проводится в России с 2007 г. с целью получения достоверной информации о лесах статистическим методом, т. е. закладкой случайно размещенных пробных площадей (ПП) и инструментальным определением ряда таксационных параметров насаждений. Для определения необходимого количества ПП используются актуализированные материалы последнего лесоустройства (ЛУ) и заданная величина погрешности ГИЛ. Основой расчета количества ПП

служит величина взвешенной дисперсии повидельного запаса древесины на 1 га по материалам ЛУ для каждого объекта ГИЛ. При этом точность полученных величин запасов оценивается априори как заранее заданная величина.

К настоящему времени методика ГИЛ претерпела существенные изменения. В основном они касались способа размещения ПП и были направлены на удешевление полевых работ – подходов к стратификации, закладки ПП на сравнительно доступной территории, группировки ПП в кластеры в пешей доступности. При этом и методика, и результаты ГИЛ стали

объектом широких обсуждений и резкой критики. Наибольшее внимание привлекли большие отклонения оценки запасов по данным ГИЛ и материалам ЛУ, выходящие далеко за пределы декларируемой точности ГИЛ.

Как следует из принятой методики ГИЛ, ее основными и важнейшими результатами являются параметрические величины насаждений, прежде всего запаса древесины. Использование выборочной среднеарифметической величины как показателя центральной тенденции эффективно при условии распределения измерений выборки и генеральной совокупности, близкого к нормальному, когда измерений тем больше, чем они ближе к среднеарифметической (Толстова, 2000; Орлов, 2004). В реальных исследованиях, в том числе таксационных характеристик леса, это условие почти никогда не соблюдается и зачастую игнорируется. При большом отклонении распределения измерений от нормального для адекватной характеристики генеральной совокупности используется медиана – величина, по обе стороны от которой произведено равное количество измерений.

Что касается выборочной средней и ее дисперсии, то в этом случае возникает вероятность ее смещения относительно истинных величин (для генеральной совокупности).

Оценка корректности полученных параметрических статистик осуществляется разными способами, в том числе непараметрическими, один из которых статистический бутстрэп (англ. *bootstrap* – самозагрузка, самонастройка) (Шитиков, Розенберг, 2013). Суть этих способов заключается в получении большого количества псевдовыборок, генерируемых из исходной. Для каждой выборки в этом случае будут получены искомые статистики (средняя, дисперсия и др.), распределение которых при большом количестве повторностей будет близким к нормальному, что позволяет адекватно оценить их статистические свойства.

Бутстрэп – метод генерации псевдовыборок того же размера, что и исходная, путем случайного извлечения измерений. При этом некоторые измерения могут попасть в псевдовыборку больше одного раза, а некоторые вообще не попасть. Рекомендованное количество итераций для метода – 5000 и более, хотя часто 1000 итераций дают вполне удовлетворительные результаты.

Цель наших исследований – определение статистических свойств параметрических характеристик по результатам ГИЛ. Из всех измеряемых параметров мы ограничились наиболее

важным показателем запаса стволовой древесины – среднего запаса, стандартного отклонения и ошибки среднего.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование базировалось на двух источниках фактического материала – плана лесонасаждений лесничества с актуализированными таксационными характеристиками выделов, которые принимались как модель лесонасаждений, и данных постоянных ПП, заложенных в рамках ГИЛ.

Между актуализированными материалами ЛУ и реальными насаждениями, вероятно, существует различие, но материалы ЛУ на сегодняшний день – единственная пространственная модель насаждений. Кроме того, интерес представляли не столько сами величины запасов, сколько их статистические свойства.

Исследовали актуализированные материалы ЛУ 2005 и 2006 гг. и материалы ГИЛ Уватского лесничества Тюменской области, расположенного в Западно-Сибирском южно-таежном равнинном районе (Приказ..., 2011) и занимающего 4685 тыс. га, в том числе 2592 тыс. га лесной площади (по данным ГИЛ). Закладку ПП в рамках программы ГИЛ проводили в 2014 г. Исходя из требований принятой методики ГИЛ, ПП размещали случайным образом, с учетом стратификации лесов. Стратификация проводилась на основе актуализированных материалов ЛУ согласно действующей методике (Методические рекомендации..., 2018). Леса территории объединили в 31 страту. Всего заложили 266 ПП.

В число анализируемых базовых статистик входили среднеарифметическая, медиана и среднее квадратичное отклонение. В отношении материалов ЛУ анализировались соответствующие взвешенные оценки:

средней –

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i w_i / \sum_{i=1}^n w_i,$$

медианы –

$$M = x_k,$$

$$\text{если } \sum_{i=1}^{k-1} w_i / \sum_{i=1}^n w_i < 0.5 \text{ и } \sum_{i=k+1}^n w_i / \sum_{i=1}^n w_i \leq 0.5,$$

отклонение –

$$\sigma = \left( \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 w_i / \sum_{i=1}^n w_i \right)^{0.5},$$

где  $n$  – количество выделов;  $x_i$  – значение;  $w_i$  – площадь  $i$ -го выдела.

Кроме анализа базовых статистик в качестве метода оценки надежности среднеарифметических значений суммарной и по отдельным породам плотности запасов древесины ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) выбрана методика бутстрэпа (Эфрон, 1988) и методы, близкие к бутстрэпу, когда количество наблюдений (в нашем случае псевдоПП) определялось произвольно.

Численные эксперименты проводили с использованием плана лесонасаждений Уватского лесничества. Заданное количество псевдоПП с координатами либо точек ПП, либо со случайными координатами распределяли на плане лесонасаждений, определяли выдел и соответствующие значения плотности запасов согласно актуализированным данным ЛУ. Во всех случаях количество повторностей составляло 5000.

Для вычислений и обращения с географическими данными использовали программный пакет Python 2.7.0 (2018) с фундаментальными библиотеками NumPy (2018), Scikit-Learn (2018) и GDAL (2018), а также комплекс программных средств PyCharm (2018).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные ЛУ и ГИЛ несколько различаются по количеству учтенных пород. В частности, на ПП ГИЛ не отмечены лиственница, ольха серая, ольха черная и тополь, имеющиеся в материалах ЛУ. Запасы некоторых пород – ив древовидных и кустарниковых, липы, рябины и черемухи и в материалах ЛУ, и в данных ГИЛ оказались чрезвычайно низкими, и на большей части выделов ЛУ и ПП ГИЛ эти породы отсутствовали. Анализ статистических свойств данных ЛУ и ГИЛ для этих пород не имел большого значения. Общий вклад этих пород в запасы составил 0.71 и 0.35 % по данным ЛУ и ГИЛ соответственно. В итоге мы рассматривали только запасы основных лесобразующих пород – березы, ели, кедра, осины, пихты и сосны.

*Базовые статистики.* Наиболее важная особенность базовых статистик материалов ЛУ и ГИЛ – большая асимметрия величин общих запасов, о чем говорит разница средних и медиан, особенно для данных ГИЛ (табл. 1). По материалам ЛУ и ГИЛ в случае запасов по отдельным породам асимметрия измерений усиливается.

Медианы для запасов по отдельным породам в большинстве случаев оказались равны нулю, т. е. лесобразующие породы по отдельности отсутствовали и в таксационных описаниях большинства выделов, и на ПП.

Исключение здесь составила статистика по запасам березы в материалах ГИЛ и ЛУ в точках ГИЛ и по запасам сосны по материалам ЛУ в точках ГИЛ. Эти две породы, особенно береза, вносят наибольший вклад в запасы в целом по лесничеству и чаще других встречаются и на ПП, и в таксационных описаниях.

Исключение недоступной территории из материалов ЛУ привело к некоторому уменьшению средневзвешенного общего запаса древесины, большому снижению запасов кедра и увеличению запасов осины. Незначительное влияние ограничения территории закладки ПП на оценку общего запаса древесины отмечалось и ранее (Куделя, 2013). Оценка общего запаса по данным ЛУ в точках ГИЛ также незначительно отличается от оценки по материалам ЛУ в целом и с ограничением территории.

Обращает на себя внимание большое расхождение величины общего запаса и запасов для большинства пород между данными ЛУ и материалами ГИЛ. Отклонение оценки общего запаса от материалов ЛУ при их разном использовании (ограничение территории обследования) составляет от 12 до 15 %.

Данные ГИЛ характеризуются большим разбросом значений общего запаса, что выражается в высоких значениях стандартного отклонения. Высокие значения стандартного отклонения характерны и для запасов по отдельным породам во всех анализируемых материалах, что связано с большим количеством наблюдений, в которых запасы каждой породы нулевые.

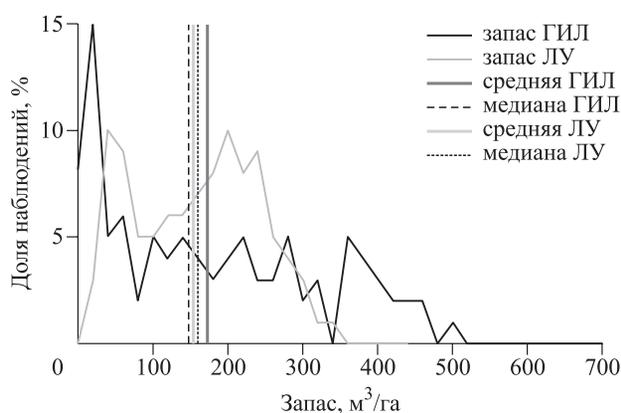
Рассчитанные значения критерия согласия Колмогорова частот распределения запасов и соответствующих ожидаемых частот при нормальном распределении во всех вариантах оказались выше критических значений для уровней значимости  $P = 0.05$  и  $P = 0.01$ , т. е. распределение запасов во всех случаях далеко от нормального (см. табл. 1). Сильные отклонения взвешенных плотностей общих запасов по ЛУ и ГИЛ от нормального показаны на рис. 1.

Распределение запасов по ГИЛ имеет левосторонний максимум, а по материалам ЛУ оно бимодальное, с двумя хорошо выраженными локальными максимумами. При таком распределении выборочное среднее значение запасов не может рассматриваться в качестве центральной меры выборки и неадекватно описывает генеральную совокупность, т. е. реальные запасы по лесничеству в целом.

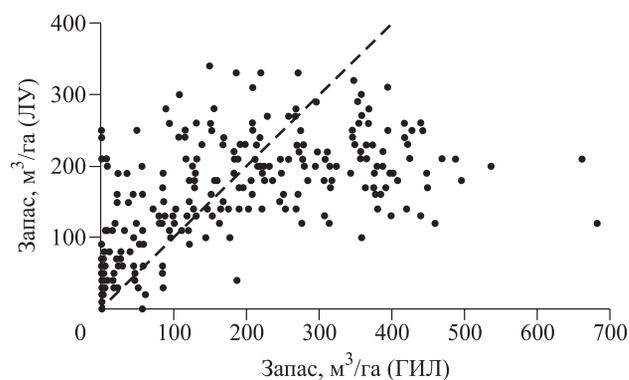
Сопоставление данных ПП ГИЛ и таксационных описаний выделов ЛУ в тех же точках показывает характер их различия (рис. 2).

**Таблица 1.** Базовые статистики запасов (м<sup>3</sup>/га) по материалам ЛУ и ГИЛ

Статистики	Древостой в целом	Береза	Ель	Кедр	Осина	Пихта	Сосна		
<i>Актуализированные материалы ЛУ в целом</i>									
Среднее	154.06	60.93	19.31	25.97	8.63	3.94	34.9		
Медиана	160	0	0	0	0	0	0		
Максимальное	440	370	400	440	400	420	370		
Стандартное отклонение	84.05	86.47	59.15	76.04	42.97	28.26	59.9		
Стандартная ошибка	0.25	0.26	0.18	0.23	0.13	0.09	0.18		
Критерий Колмогорова	$P = 0.5$ $P = 0.01$	0.0008 0.0010	0.0014	0.0221	0.0303	0.0321	0.0309	0.0278	0.0202
<i>Актуализированные материалы ЛУ по доступной территории</i>									
Среднее	150.58	61.32	17.34	12.99	18.85	5.56	33.83		
Медиана	160	52	0	0	0	0	23		
Максимальное	440	360	280	308	400	296	360		
Стандартное отклонение	83.73	56.5	29.15	29.03	34.98	17.09	40.64		
Стандартная ошибка	0.29	0.19	0.10	0.10	0.12	0.06	0.14		
Критерий Колмогорова	$P = 0.5$ $P = 0.01$	0.0010 0.0012	0.0012	0.0030	0.0132	0.0157	0.0165	0.0179	0.0077
<i>Актуализированные материалы ЛУ по точкам ГИЛ</i>									
Среднее	152.82	62.11	17.5	10.22	19.81	7.37	35.41		
Медиана	160	54	0	0	0	0	23		
Максимальное	340	260	165	180	192	132	264		
Стандартное отклонение	83.30	55.02	29.76	25.51	34.81	20.41	43.57		
Стандартная ошибка	5.11	3.37	1.82	1.56	2.13	1.25	2.67		
Критерий Колмогорова	$P = 0.5$ $P = 0.01$	0.0834 0.0999	0.0465	0.0432	0.2935	0.3550	0.3101	0.3727	0.2039
<i>Данные ГИЛ</i>									
Среднее	172.72	51.56	20.72	13.51	39.41	13.6	33.29		
Медиана	147.3	13.05	0	0	0	0	0		
Максимальное	681.3	405.1	262.4	196.4	658.5	338.3	622.8		
Стандартное отклонение	152.53	75.24	46.27	29.05	88.5	38.08	75.11		
Стандартная ошибка	9.35	4.61	2.84	1.78	5.43	2.33	4.61		
Критерий Колмогорова	$P = 0.5$ $P = 0.01$	0.0834 0.0999	0.8416	2.0722	2.8336	2.5119	4.0371	3.6421	2.9552



**Рис. 1.** Относительная частота запасов по данным ЛУ и ГИЛ.



**Рис. 2.** Запасы по данным ГИЛ и по актуализированным данным ЛУ в точках ПП ГИЛ.

В точках ПП с общим удельным запасом до 200 м<sup>3</sup>/га запас по материалам ЛУ значительно выше, в том числе и для ПП, лишенных древо-стоя. В диапазоне запасов на ПП от 200 м<sup>3</sup>/га и выше, напротив, по материалам ЛУ запасы ниже. Эта разница в оценке особенно заметна при запасах на ПП больше 300 м<sup>3</sup>/га.

Такая разница в оценке запасов, очевидно, связана с тем, что в материалах ЛУ таксационные показатели приводятся для выдела, т. е. территории, заведомо большей площади ПП, иначе говоря – показатели сглажены. Большой разброс величин запасов на ПП связан с неоднородностью насаждения внутри выдела (Перепечина и др., 2014).

В случае соответствия актуализированных материалов ЛУ реальным насаждениям при сопоставлении запасов ПП и соответствующих запасов по материалам ЛУ они должны концентрироваться вблизи диагонали (см. рис. 2, ЛУ), т. е. отклонения данных ГИЛ и ЛУ должны быть случайными, не влияющими на итоговые величины (Фарбер, Брюханов, 2014).

В нашем случае большое количество ПП с запасом менее 100 м<sup>3</sup>/га занижает запас по сравнению с материалами ЛУ, а с запасом выше 300 м<sup>3</sup>/га – явно завышает. Особенно обращают на себя внимание две ПП с очень большим запасом – 662.1 и 681.3 м<sup>3</sup>/га, которые можно рассматривать как статистические выбросы. В целом это несоответствие оценки запасов по ЛУ и ГИЛ приводит к значительной разнице итоговых значений.

Согласно принятым Методическим рекомендациям... (2018), количество ПП рассчитывается по формуле

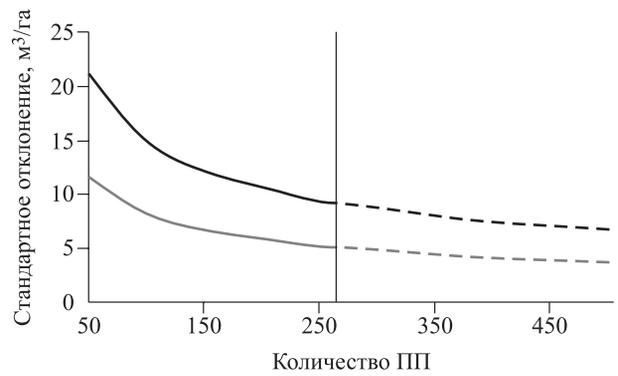
$$y = \max\left(\frac{t^2 s^2}{(\bar{x}q)^2}\right),$$

тогда полученную точность можно вычислить по формуле

$$q = \sqrt{\frac{t^2 s^2}{y \bar{x}^2}},$$

где  $q$  – относительная точность (от 0 до 1);  $t$  – значение критерия Стьюдента (1.96 с вероятностью 0.95);  $s^2$  – дисперсия запасов древесины;  $\bar{x}$  – средний запас древесины, м<sup>3</sup>/га.

По материалам ЛУ при уровне значимости  $P = 0.05$ , среднем взвешенном запасе на 1 га и средневзвешенном стандартном отклонении (см. табл. 1) требуемое количество ПП составило 457, а принятое количество 266 ПП по стати-



— данные ЛУ в точках ГИЛ      — данные ГИЛ

**Рис. 3.** Динамика стандартного отклонения частных средних общего запаса с изменением количества ПП по результатам бутстрэпа ПП ГИЛ и соответствующих им материалов ЛУ (вертикальная линия соответствует количеству 266 ПП).

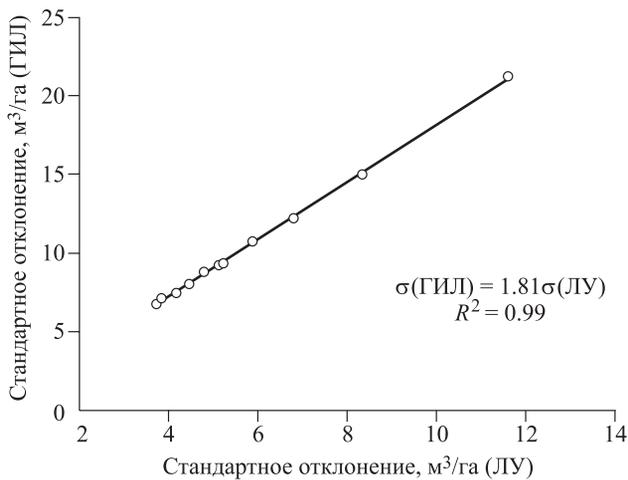
стике ЛУ теоретически может обеспечить точность в 7 %. При этом точность оценки общих запасов на 1 га, полученной по материалам ГИЛ, составила 11 %, что говорит о наличии варьирования, не учтенного при планировании ГИЛ.

*Численные эксперименты (бутстрэп) с данными ГИЛ и материалами ЛУ в точках ГИЛ.* Численные эксперименты (бутстрэп) заключались в случайной выборке заданного количества ПП ГИЛ и выделов ЛУ в точках ГИЛ и определении среднего запаса для этой выборки – частного среднего. Эту процедуру повторяли 5000 раз и для всего полученного массива частных средних запасов определяли стандартное отклонение. Заданное количество ПП возрастало от 50 до 500 с шагом 50.

По мере увеличения количества псевдоПП уменьшается стандартное отклонение частных средних (рис. 3).

Как и следовало ожидать, при любом количестве ПП величины стандартного отклонения частных средних общего запаса и по отдельным породам по материалам ЛУ всегда ниже, чем соответствующие отклонения по материалам ГИЛ. Разницу этих величин, вероятно, следует отнести к варьированию запасов внутри выдела, внутривыделной неоднородности леса, которая добавляется к варьированию запасов между выделами.

Иначе говоря, стандартное отклонение частных средних по материалам ЛУ отражает только варьирование запасов между выделами, а отклонение по материалам ГИЛ – сумму варьирования между выделами и внутривыделной неоднородностью запасов. При любом заданном



**Рис. 4.** Зависимость величины стандартного отклонения средней плотности общих запасов от изменения количества ПП по результатам бутстрэпа ПП ГИЛ и соответствующим им материалам ЛУ.

количестве ПП отношение этих величин остается почти постоянным и хорошо описывается линейным уравнением. Коэффициент уравнения показывает, во сколько раз суммарное варьирование запасов по материалам ГИЛ больше варьирования запасов между выделами по материалам ЛУ (рис. 4).

Этот коэффициент можно рассматривать как повышающий для учета внутривыделного варьирования при использовании материалов ЛУ (табл. 2).

Соотношение варьирования величин запасов между выделами и внутривыделного варьирования в каждом конкретном случае зависит от точности материалов ЛУ, особенностей насаждений и других показателей. Величины соотношения, полученные в нашем случае, можно рассматривать как относительные, позволяющие сравнить особенности пространственного распределения запасов разных пород и использовать их для учета внутривыделного варьирования общего запаса и по отдельным породам.

**Таблица 2.** Повышающие коэффициенты для стандартных отклонений запасов для материалов ЛУ

Запас	Коэффициент	$R^2$
Общий	1.81	0.99
По породам:		
береза	1.33	0.99
ель	1.50	0.99
кедр	1.14	0.99
осина	2.50	0.99
пихта	1.87	0.99
сосна	1.79	0.99

Из лесобразующих пород насаждений Уватского лесничества наименьшей величиной внутривыделного варьирования отличаются кедр, береза и ель, а наибольшим – осина. Внутривыделное варьирование запасов пихты и сосны близко к варьированию общих запасов древесины. Эти особенности связаны с парцеллярностью лесонасаждений, особенно выраженных у такой породы, как осина. Отчасти они могут быть связаны с особенностями учета запасов в таксационных данных. Например, для пород с единичным участием в составе запас равен 0, а в материалах ГИЛ – больше 0, что значительно увеличивает оценку внутривыделного варьирования.

Согласно Методическим рекомендациям... (2018), количество необходимых ПП, рассчитанных по материалам ЛУ, увеличивается на 30 % для компенсации дополнительной дисперсии внутри лесотаксационных выделов с неоднородной таксационной характеристикой, т. е. внутривыделного варьирования запасов. Сравнение дисперсий запасов по данным ГИЛ и ЛУ показывает, что эта дополнительная дисперсия значительно больше, по крайней мере для материалов ЛУ Уватского лесничества. По нашему мнению, доля этой дисперсии, скорее всего, выше и для других объектов ГИЛ.

Как и следовало ожидать, точность средних запасов, определенная по численным экспериментам с материалами ГИЛ, увеличивается с увеличением количества ПП и при таком же их количестве, что и в исходной выборке, приближается к фактической точности (табл. 3).

Точность оценки общего запаса древесины в 5 % достигается при 300 ПП, а оценка запасов по отдельным породам даже при 500 ПП для всех пород, кроме березы, оказывается только ~10 % или больше. Береза, как наиболее распространенная порода, показывает меньшее варьирование запасов и лучшую оценку запаса на ПП ГИЛ.

*Численные эксперименты с материалами ЛУ.* Вычисленные повышающие коэффициенты позволили оценить вероятную надежность оценки запасов с учетом внутривыделного варьирования при разных количествах ПП и условиях стратификации (табл. 4). В целом, как и в материалах ГИЛ, точность оценки запасов растет с увеличением количества ПП, но в экспериментах с материалами ЛУ точность оценки оказалась существенно ниже, чем в экспериментах с материалами ГИЛ, при равных количествах ПП. Точность оценки общего запаса древесины

**Таблица 3.** Точность оценки среднего запаса (доля ошибки) по результатам бутстрэпа с материалами ГИЛ, %

Количество ПП	Древостой в целом	Береза	Ель	Кедр	Осина	Пихта	Сосна
<i>По результатам численных экспериментов</i>							
50	12.3	20.3	30.8	29.3	30.5	37.4	28.7
100	8.7	14.5	22.1	20.8	21.6	26.9	20.3
150	7.1	11.8	18.0	17.0	17.6	21.9	16.5
200	6.1	10.3	15.5	14.6	15.3	18.9	14.2
250	5.5	9.2	13.9	13.1	13.7	16.9	12.8
<b>266</b>	<b>5.3</b>	<b>8.9</b>	<b>13.5</b>	<b>12.7</b>	<b>13.2</b>	<b>16.4</b>	<b>12.4</b>
300	5.0	8.4	12.7	11.9	12.5	15.4	11.7
350	4.7	7.8	11.8	11.1	11.5	14.3	10.8
400	4.4	7.3	11.0	10.4	10.8	13.4	10.1
450	4.1	6.8	10.4	9.8	10.1	12.7	9.5
500	3.9	6.5	9.8	9.3	9.6	12.0	9.0
<i>По фактическим данным</i>							
<b>266</b>	<b>5.4</b>	<b>8.9</b>	<b>13.7</b>	<b>13.2</b>	<b>13.8</b>	<b>17.2</b>	<b>13.8</b>

**Таблица 4.** Точность определения запаса (доля ошибки) по результатам численных экспериментов с материалами ЛУ с учетом внутривидельного варьирования для доступной территории, %

Количество ПП	Древостой в целом	Береза	Ель	Кедр	Осина	Пихта	Сосна
<i>Без стратификации</i>							
50	14.0	17.1	34.7	34.4	63.3	75.6	29.8
100	10.0	12.1	24.9	24.7	45.7	55.2	21.3
150	8.2	9.9	20.4	20.4	37.5	45.8	17.4
200	7.1	8.6	17.7	17.8	32.5	39.9	15.2
250	6.3	7.7	15.9	15.9	29.2	35.8	13.6
<b>266</b>	<b>6.2</b>	<b>7.5</b>	<b>15.4</b>	<b>15.5</b>	<b>28.3</b>	<b>34.8</b>	<b>13.2</b>
300	5.8	7.0	14.5	14.5	26.6	32.7	12.4
350	5.4	6.5	13.5	13.5	24.7	30.4	11.5
400	5.0	6.1	12.6	12.7	23.1	28.5	10.8
450	4.7	5.8	11.9	11.9	21.8	26.8	10.1
500	4.5	5.5	11.2	11.3	20.7	25.5	9.6
<i>Со стратификацией</i>							
50	14.4	18.8	31.7	45.5	53.3	48.1	37.0
100	10.5	12.4	25.1	25.5	43.4	54.9	23.4
150	8.2	10.0	20.5	20.3	36.7	46.3	18.0
200	7.0	8.6	17.5	17.6	31.7	39.7	15.7
250	6.3	7.7	15.8	15.7	29.0	35.9	13.8
<b>266</b>	<b>6.1</b>	<b>7.5</b>	<b>15.5</b>	<b>15.2</b>	<b>28.4</b>	<b>35.9</b>	<b>13.3</b>
300	5.7	7.1	14.3	14.4	26.4	32.0	12.5
350	5.3	6.5	13.3	13.2	24.8	31.0	11.5
400	5.1	6.2	12.5	12.5	22.8	28.5	11.0
450	4.7	5.8	11.8	11.7	21.7	27.0	10.3
500	4.5	5.4	11.1	11.1	20.4	25.5	9.8

в 5 % достигается только при 400 ПП. Такое различие указывает на недооценку внутривидельного варьирования, которое объясняет разницу между запасами по ЛУ и ГИЛ.

Эти отклонения являются случайными, а не систематическими, что отмечалось и в исследованиях других авторов (Брюханов, 2011).

Это же относится и к запасам по отдельным породам. Исключение составляет точность оценки запасов березы. Варьирование ее запасов на всей территории лесничества предположительно меньше, чем на ПП ГИЛ, и оценка ее запасов в экспериментах с материалами ЛУ оказалась точнее.

Большое различие точности оценки запасов по экспериментам с материалами ГИЛ и ЛУ показали результаты оценки осины и пихты. Если на точность оценки запасов осины повлиял большой повышающий коэффициент, то в случае с пихтой материалы ЛУ показали большую вариабельность запасов по сравнению с данными ГИЛ.

Как показывают численные эксперименты по материалам ЛУ, стратификация выделов и применение соответствующего пропорционального отбора ПП оказывает влияние на точность оценки только при относительно небольшом количестве ПП – 50–100. При увеличении количества ПП стратификация на точность оценки запасов никак не влияет. Слабое влияние применяемой стратификации на качество итогов ГИЛ и необходимость использования других принципов стратификации лесов отмечались ранее (Алексеев, 2013; Перепечина и др., 2014).

## ВЫВОДЫ

1. В целом базовые статистики показывают, что частотное распределение общей и попородной плотности запасов по материалам ЛУ и данным ГИЛ далеко от нормального, а полученные среднеарифметические значения могут быть неадекватной итоговой оценкой запаса древесины.

2. Стандартное отклонение запасов по данным ГИЛ значительно выше отклонений по материалам ЛУ, что связано с неоднородностью древостоя в пределах выдела. Для обеспечения требуемой точности оценки общих запасов исходя из базовой статистики материалов ГИЛ необходимо значительно большее количество ПП, чем было определено по материалам ЛУ, что связано с неучтенным варьированием запасов при закладке ПП.

3. По материалам ЛУ ограничение площади закладки ПП не оказало большого влияния на итоговые оценки запасов по материалам ГИЛ.

4. Бутстрэп материалов ГИЛ и ЛУ в точках ГИЛ показал, что при любом количестве ПП стандартное отклонение общих запасов и по отдельным породам по ГИЛ превышает отклонение по ЛУ на постоянную величину, которую можно рассматривать как величину внутривидельного варьирования запасов. Для общего запаса эта величина значительно больше предусмотренной в методике предварительного расчета требуемого количества ПП по материалам ЛУ.

5. Численные эксперименты с материалами ЛУ с учетом величины внутривидельного варьирования подтвердили существенную недооценку внутривидельного варьирования, которая отчасти может объяснить большую разницу оценки запасов по ЛУ и ГИЛ и позволяет отнести эти отклонения к случайным, а не систематическим. Эти же эксперименты показали низкую эффективность применяемой стратификации лесов, по крайней мере, для Уватского лесничества.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А. С. Статистическая инвентаризация лесов в России и современная государственная инвентаризация лесов // Лесн. вестн. 2013. № 4 (96). С. 122–124.
- Брюханов Н. В. Государственная инвентаризация лесов: состояние работ в Красноярском крае и Республике Хакасия // Лесн. таксация и лесоустройство. 2011. № 1–2 (45–46). С. 128–131.
- Куделя В. А. К обоснованию необходимого числа постоянных пробных площадей при государственной инвентаризации лесов с учетом труднодоступных территорий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр., 15–26 апреля 2013 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. мат-лов в 4 т. Т. 4. Новосибирск: Сиб. гос. геод. акад., 2013. С. 129–135.
- Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. Утв. приказом Рослесхоза от 10 ноября 2011 г. № 472 (в ред., введенной в действие приказом Рослесхоза от 15 марта 2018 г. № 173). М.: Федеральное агентство лесн. хоз-ва, 2018. 173 с.
- Орлов А. И. Прикладная статистика: учеб. для вузов. М.: Экзамен, 2004. 656 с.
- Перепечина Ю. И., Глушенков О. И., Глушенков И. С. Государственная инвентаризация российских лесов // Лесотех. журн. 2014. № 2. С. 60–67.

- Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 9 марта 2011 г. № 61 «Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и перечня лесных районов Российской Федерации». Зарег. в Минюсте РФ 28 апреля 2011 г. № 20617. М.: Федеральное агентство лесн. хоз-ва, 2011. 67 с.
- Толстова Ю. Н. Анализ социологических данных: методология, дескриптивная статистика, изучение связей между номинальными признаками. М.: Научный мир, 2000. 352 с.
- Фарбер С. К., Брюханов Н. В. Материалы массовой таксации и государственной инвентаризации лесов: характеристика расхождений, причины, анализ // Сиб. лесн. журн. 2014. № 5. С. 16–28.
- Шутиков В. К., Розенберг Г. С. Рандомизация и бутстрэп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Кассандра, 2013. 314 с.
- Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.
- GDAL – Geospatial Data Abstraction Library, 2018. <https://www.gdal.org/>
- NumPy, 2018. <http://www.numpy.org/#>
- PyCharm, 2018. <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
- Python 2.7.0 Release, 2018. <https://www.python.org/download/releases/2.7/>
- Scikit-Learn. Machine learning in Python, 2018. <http://scikit-learn.org/stable/>

## STATISTICAL ANALYSIS OF TIMBER STOCK EVALUATION USING THE DATA OF STATE FOREST INVENTORY AND FOREST PLANNING

I. D. Makhatkov<sup>1</sup>, V. A. Kudelya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Soil Science and Agrochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Prospekt Akademika Lavrent'eva, 8/2, Novosibirsk, 630090 Russian Federation*

<sup>2</sup> *West-Siberian Branch of the Federal State Budgetary Enterprise «Roslesinforg» «Zapsiblesproekt»  
Nemirovich-Danchenko str., 137/1, Novosibirsk, 630048 Russian Federation*

E-mail: makhatkov@issa-siberia.ru, zapsib.lp@roslesinforg.ru

The State Forest Inventory (SFI) has been performed in Russia since 2007. The methodology of SFI includes stratification of the stands and limitation of the area of sample plots (SP). The projecting of the SFI is based mainly on the data of the forest planning (FP), which was applied earlier. The differences in the evaluation of timber stock based on the results of SFI and FP and the SFI methodology are a subject of discussion. The background statistics of SFI and FP data of Uvatsky forestry district in Tyumen oblast are considered. A feature characteristic of evaluating timber stocks by SFI and FP is a marked asymmetry of their distribution, which makes parametric estimation of the stock accuracy ineffective in both cases. It is shown that the limitation of the area of SFI SP did not influence the final stock evaluation. An attempt was made to estimate the error of timber stock evaluation using non-parametric statistics of resampling, generating a set of pseudo-samples. The use of resampling of SFI SP and FP forest inventory surveys at SFI points made it possible to determine the dependence of the accuracy on the number of SP and the value of the intra-forest compartment variation of timber stock, which did not depend on the number of SP and turned out to be much higher than that provided in the SFI projecting methodology. Generation of pseudo-samples of SP on the forest map considering the obtained values of intra-compartment variation allowed to determine the expected dynamics of the accuracy of evaluation of timber stock with increasing SP. Underestimation of the intra-compartment variation of timber stocks partly explains the large difference in the evaluation of timber stocks using SFI and FP data. The low influence of the applied stratification of the stands on the accuracy of SFI results is shown.

**Keywords:** *forest inventory, sample plot, statistics, resampling, error of forest inventory, Uvatsky forestry district, Tyumen oblast, Russia.*

**How to cite:** *Makhatkov I. D., Kudelya V. A. Statistical analysis of timber stock evaluation using the data of state forest inventory and forest planning // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 6: 16–24 (in Russian with English abstract). DOI: 10.15372/SJFS20180602*