

## СТАТЬЯ

УДК 630\*566

**ПАРАМЕТРЫ ДИНАМИКИ РОСТА ПОСЛЕРУБОЧНЫХ ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ****Калачев В.А., Козлов Н.В., Вайс А.А.***ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru*

В соответствии с поставленной целью определены и построены аппроксимирующие кривые роста основных таксационных показателей модальных послерубочных пихтовых древостоев Канского лесничества, сформировавшихся после проведения сплошных рубок. Построение регрессий производилось в программах Curve Expert 1.3 и Microsoft Office Excel. Для аппроксимации связей таксационных показателей ( $H = f(A)$ ,  $D_{1.3} = f(A)$ ) пихтовых насаждений подобраны парные нелинейные эмпирические уравнения (функция Modified Exponential), а для связи  $M = f(A)$  использовалась функция роста Б. Гомпертца. В процессе исследования произведен сравнительный анализ хода роста послерубочных пихтовых насаждений с данными пихтовых древостоев Сибири по основным таксационным показателям. В результате исследования установлено следующее: в послерубочных насаждениях формируются пихтово-лиственные (чаще лиственно-пихтовые) древостои, которые значительно отличаются по составу от материнских древостоев и подпологового подроста. Динамика послерубочных показателей диаметров и запасов пихтачей существенно отличается от текущих показателей дорубочных (коренных) пихтовых насаждений. При этом ростовые процессы в высоту идентичны, что указывает на однородность условий местопроизрастания. Высокий запас послерубочных пихтачей объясняется смешанным составом и высокой плотностью формирующихся древостоев. Нормативы послерубочных пихтовых насаждений существенно отличаются по ходу роста от общих таблиц, составленных для модальных пихтовых древостоев Сибири. Результаты исследований возрастной динамики основных таксационных показателей модальных послерубочных пихтовых насаждений Канской лесостепи необходимо учитывать при проведении лесохозяйственных мероприятий по уходу за лесом, повышении продуктивности пихтовых древостоев, а также при назначении сплошных рубок в коренных (дорубочных) древостоях.

**Ключевые слова:** пихта сибирская (*Abies sibirica* L.), ход роста, регрессионные модели, таксационные показатели, сплошные рубки

**PARAMETERS OF GROWTH DYNAMICS OF POST-HARVEST FIR STANDS IN THE KANSK FOREST-STEPPE****Kalachev V.A., Kozlov N.V., Vays A.A.***M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies, Krasnoyarsk, e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru*

In accordance with this goal, the approximating growth curves of the main taxation indicators of the modal post-harvest fir stands of the Kansk forestry formed after continuous logging were determined and constructed. The regressions were built in the program Curve Expert 1.3 and Microsoft Office Excel. Paired nonlinear empirical equations (the "Modified Exponential" function) were selected to approximate the relationship of taxation indicators ( $H = f(A)$ ,  $D_{1.3} = f(A)$ ) of fir plantations, and the growth function of B. Gompertz was used for the relationship  $M = f(A)$ . In the course of the study, a comparative analysis of the growth of post-harvest fir plantations with the data of Siberian fir stands on the main taxation indicators was carried out. As a result of the study, the following was established: in post-harvest plantations, fir-deciduous (more often deciduous-fir) stands are formed, which differ significantly in composition from the parent stands and the undergrowth. The dynamics of post-harvest indicators of diameters and stocks of fir trees differ significantly from the current indicators of pre-cutting (indigenous) fir plantations. At the same time, the growth processes in height are identical, which indicates the uniformity of the growing conditions. The high stock of post-harvest firs is explained by the mixed composition and high density of the emerging stands. The standards of post-harvest fir stands differ significantly in the course of growth from the general tables compiled for modal fir stands in Siberia. The results of studies of the age dynamics of the main taxation indicators of modal post-harvest fir plantations of the Kansk forest-steppe should be taken into account when carrying out forestry measures to care for the forest, increase the productivity of fir stands, as well as when assigning continuous logging in indigenous (pre-logging) stands.

**Keywords:** *Abies sibirica* L., the course of growth, regression models, taxation indicators, solid logging

В постсоветский период разработано достаточное количество нормативов хода роста лесных насаждений (нормальные, модальные), основанных на бонитетной и типологической основе. Таблицы хода роста имеют общий и местный характер. В настоящее время в связи с изменением климатических условий и антропогенным воздействием нормативы хода роста нуждаются в актуализации.

Соответствующие работы по актуализации таблиц проводятся исследователями в области лесной таксации [1–4]. Нормативы разрабатываются на локально-территориальном уровне, имеют определенные отклонения от региональных таблиц хода роста. Ряд ученых представили методические особенности и показатели роста искусственных лесных насаждений [5–7].

Необходимо отметить, что с учетом технологических новаций в развитии лесной отрасли на территории Средней Сибири активизируются процессы быстрого освоения лесных участков со значительным изъятием древесной биомассы. В результате возникает проблема необходимости изучения формирования и прогноза динамики, закономерностей и особенностей роста хвойных и лиственных насаждений после

проведения сплошных рубок в различных типолого-территориальных условиях.

Цель исследования – оценка таксационных показателей послерубочных пихтовых насаждений на основе регрессионных уравнений в условиях Канской лесостепи.

**Материалы и методы исследования**

Объект изучения – пихтовые насаждения после сплошных рубок.

**Таблица 1**

Таксационная характеристика послерубочных насаждений с учетом периода после рубки

Период после рубки, лет	Состав	Порода	Д, см	Н, м	А, лет	Полнота	Бонитет	Тип леса	М, м <sup>3</sup> /га
до 20	47Б(65)30П(35)19Е4К	Б	18,6	19,9	65	0,8	2	Б <sub>ВЕЙН</sub>	166
		П	11,9	11,8	35				
	78П(45)18К4Е	П	13,3	13,1	45	0,8	3	П <sub>ВЕЙН</sub>	150
	77П(30)15Б7Е1К	П	10,9	10,4	30	0,6	2	П <sub>ВЕЙН</sub>	84
	71П(25)18Б11Е	П	9,3	9,8	25	0,6	3	П <sub>ВЕЙН</sub>	71
48П(25)44Б5Е3К	П	9,2	9,1	25	0,5	3	П <sub>ВЕЙН</sub>	56	
21-40	61Ос(40)21К18П(35)	Ос	9,8	12,7	40	0,5	2	Ос <sub>РТ</sub>	73
		П	12,0	11,4	35				
	45П(25)44Ос7Б4К	П	10,2	9,0	25	0,9	3	П <sub>РТ</sub>	110
	86П(25)8Е4Ос2Б	П	9,9	10,3	25	0,6	3	П <sub>РТ</sub>	86
	68П(25)23Ос4К4Е1Б	П	9,2	10,8	25	0,8	3	П <sub>РТ</sub>	111
	40К(80)29П(40)17Ос10Б4Е	К	26,2	18,2	80	0,9	3	К <sub>РТЗМ</sub>	252
		П	11,4	10,6	40				
	24Ос(60)23Б22П(35)19К12Е	Ос	15,5	18,9	60	0,6	2	Ос <sub>РТЗМ</sub>	176
		П	9,9	10,3	35				
	51П(50)29К15Е5Ос	П	12,9	12,4	50	1,0	3	П <sub>РТЗМ</sub>	221
51П(50)28К13Ос5Б4Е	П	11,6	12,0	50	0,9	3	П <sub>РТЗМ</sub>	180	
46К(80)30П(45)19Ос3Б2Е	К	24,8	15,5	80	0,8	3	К <sub>РТЗМ</sub>	162	
	П	9,8	11,1	45					
41-60	77Б(65)15П(40)Е3К ед Ос	Б	14,4	16,4	65	1,2	3	Б <sub>РТ</sub>	189
		П	11,0	9,0	40				
	51П(80)29К13Б7Е	П	26,3	21,0	80	0,7	4	П <sub>РТ</sub>	221
	72Б(65)18Е5П(75)5К	Б	18,5	17,9	65	1,0	3	Б <sub>РТ</sub>	209
		П	16,7	14,0	75				
	41Б(65)35Е14К10П(55)	Б	16,4	16,4	65	0,9	3	Б <sub>РТ</sub>	226
		П	12,6	12,5	55				
49П(80)24Б15Е12К	П	22,9	18,3	80	0,9	3	П <sub>РТ</sub>	221	
40Б(65)40П(80)16К4Е	Б	13,6	13,6	65	1,2	3	Б <sub>РТ</sub>	242	
	П	20,3	16,5	80					

Примечание: Д – средний диаметр, см; Н – средняя высота, м; А – возраст, лет; П<sub>ВЕЙН</sub> – пихтач вейникового типа леса; П<sub>РТЗМ</sub> – пихтач разнотравно-зеленомошного типа леса; П<sub>РТ</sub> – пихтач разнотравного типа леса; Б<sub>ВЕЙН</sub> – березняк вейникового типа леса; Ос<sub>РТ</sub> – осинник разнотравного типа леса; К<sub>РТЗМ</sub> – кедряч разнотравно-зеленомошного типа леса; Б<sub>РТ</sub> – березняк разнотравного типа леса.

Для реализации поставленной цели отобрано 46 лесных участков (лесосеки), территориально расположенных в Таежном участке лесничества Канского лесничества, на которых в период с 1961 по 2015 г. проведены сплошные рубки пихтовых древостоев.

Таксационная характеристика послерубочных насаждений получена в результате полевых и камеральных работ в 2020 г. (табл. 1), а также анализа лесных участков арендованных территорий 2018 г.

Послерубочные насаждения характеризуются разнотравной группой типов леса вне зависимости от преобладающей древесной породы (пихта, кедр, береза и осина). Насаждения смешанные. При этом доминируют по составу пихтачи, затем березняки, кедрячи и осинники. Послерубочные пихтачи развиваются по 3-му классу бонитета. Закономерности, связанные с изменением количественных показателей насаждений после периода рубки (до 20 лет, 21–40 лет, 41–60 лет), выявляются не явно, поскольку древостои формируются как из предшествующих, так и последующих генераций подроста. Следует отметить, что насаждения после 41–60 лет характеризуются высокой полнотой (0,7–1,2).

Возрастная последовательность естественного восстановления лесных участков Канского лесничества после сплошной рубки изображена на рис. 1.



Рис. 1. Восстановительные стадии послерубочных пихтовых насаждений

Прогнозирование роста основных таксационных показателей выполнялось на основе научно-методических рекомендаций отечественных авторов [8, 9].

Проведение статистического анализа данных и подбор аппроксимирующих кри-

вых выполнялись в программах Microsoft Office Excel, Curve Expert 1.3.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для представления об особенностях до-рубочных насаждений выполнена статистическая оценка пихтовых древостоев на исследуемой территории:

- состав (количество преобладающего пихтового элемента леса в составе древостоя 7 единиц (диапазон 6–9 единиц), сопутствующие элементы представлены породами ель, кедр, береза (вариация в составе от 1 до 4 единиц));

- средний возраст –  $128 \pm 5$  лет (возрастной диапазон насаждений 100–160 лет);

- средний диаметр –  $19,9 \pm 0,7$  см (размах средних диаметров от 16 до 26 см);

- средняя высота –  $19,1 \pm 0,4$  м (вариация 17–22 м);

- средний класс бонитета  $IV \pm 0,1$  (III–IV);

- средняя полнота  $0,8 \pm 0,02$  (интервал полнот  $0,6–0,9$ );

- средний запас насаждений –  $234 \pm 7,7$  м<sup>3</sup>/га (от 170 до 260 м<sup>3</sup>/га);

- насаждения преимущественно относятся к зеленомошниковой группе типов леса;

- состав подроста (количество главного пихтового элемента в составе 8 единиц (диапазон 6–10 единиц), сопутствующие – ель, кедр, береза 1–4 единицы);

- средний возраст подроста  $20 \pm 3$  года (10–35 лет);

- средняя высота подроста –  $1,5 \pm 0,2$  м (1,0–3,5 м);

- средняя густота подроста  $5,6 \pm 0,8$  тыс. шт./га (2,0–15,0 тыс. шт./га).

Применительно к послерубочным насаждениям установлены следующие диапазоны таксационной характеристики:

- по составу (в среднем количество пихтового элемента леса в составе насаждений составило 5 единиц (лимит представленности от 3 до 8 единиц);

- сопутствующими или преобладающими элементами леса являлись ель, кедр, береза, осина; вариация в составе 2–7 единиц;

- диапазон возраста пихтовых древостоев 5–100 лет;

- средний диаметр пихтачей от 2 до 26 см;

- средняя высота пихтовых насаждений 3–21 м;

- класс бонитета III;

- полнота насаждений  $0,4–1,0$ ;

- средний запас насаждений  $5–252$  м<sup>3</sup>/га;

- насаждения относятся к разнотравной группе типов леса.

На первом этапе статистически обработаны основные средние таксационные показатели послерубочных пихтовых насаждений (диаметр, высота, и запас) по периодам после рубки (табл. 2).

Необходимо отметить, что таксационные показатели формирующихся древостоев до 20 лет имеют большую изменчивость и, соответственно, высокую точность опыта (14,0–28,8%). Объяснить это можно наличием на вырубках подроста как предшествующей, так и последующей генерации. Выборки «21–40» и «41–60» лет репрезентативны (максимальная точность опыта не превысила 11,2%).

Следующий этап – это получение прогнозного сценария динамики основных таксационных показателей модальных послерубочных пихтовых насаждений Канской лесостепи. Для этого использовались парные нелинейные трехпараметрические уравнения (функция Modified Exponential (1, 2 типа) и функция роста Б. Гомпертца (3)).

С целью объективного получения прогноза динамики роста послерубочных пихтовых насаждений в качестве входной переменной использовали возраст, а выходные переменные – диаметр, высота и общий запас насаждения (вне зависимости от преобладающей породы в составе).

$$D = 33,69 * e^{(-43,8155/A)}, \quad (1)$$

где D – диаметр, см;  
A – возраст, лет.

Экспоненциальное уравнение. Коэффициент корреляции составил 0,82. Стандартная ошибка – 3,3 см. Уравнение достоверно, поскольку критерий Фишера (F) составил 36. Все коэффициенты значимы ( $p < 0,05$ ). Диапазон действия возраста древостоя 5–100 лет.

$$H = 23,69 * e^{(-31,744878/A)}, \quad (2)$$

где H – высота, м;  
A – возраст, лет.

Экспоненциальное уравнение. Коэффициент корреляции составил 0,76. Стандартная ошибка – 2,9 м. Уравнение достоверно, так как  $F_{\phi} (90) > F_{\text{таб}} (\geq 5)$ . Все коэффициенты значимы ( $p < 0,05$ ). Диапазон действия возраста древостоя 5–100 лет.

$$M = AS/10^{10^{(-0,0222+0,4232/A)}}, \quad (3)$$

где M – запас, м<sup>3</sup>/га;  
A – возраст, лет;  
AS – расстояние между нижней и верхней асимптотами запаса (252 м<sup>3</sup>/га).

Уравнение Гомпертца. Коэффициент корреляции составил 0,98. Стандартная ошибка – 55 м<sup>3</sup>/га. Уравнение достоверно  $F = 24$ . Все коэффициенты уравнения значимы, поскольку  $p < 0,05$ . Диапазон действия уравнения A = 5–100 лет.

Модальные пихтаци зеленемошниковой группы типов леса III и IV класса бонитета являются коренными дорубочными насаждениями, в которых в возрасте спелости и перестойности назначаются сплошные рубки.

Таблица 2

Показатели описательной статистики таксационных показателей послерубочных насаждений по временным периодам рубки (лет)

Таксационный показатель	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
до 20 лет				
Диаметр, см	5,3±0,94	2,83	53,0	17,7
Высота, м	5,1±0,72	2,15	42,0	14,0
Запас, м <sup>3</sup> /га	24±7,0	21,1	86,4	28,8
21–40 лет				
Диаметр, см	10,8±0,33	1,3	12,1	3,0
Высота, м	10,7±0,30	1,19	11,2	2,8
Запас, м <sup>3</sup> /га	149±16,6	66,4	44,7	11,2
41–60 лет				
Диаметр, см	21,6±2,03	4,06	18,8	9,4
Высота, м	17,4±1,47	2,95	16,9	8,5
Запас, м <sup>3</sup> /га	230±14,2	34,8	15,1	6,2

Примечание: оценка получена при уровне доверительной вероятности  $p = 0,954$ .

Таблица 3

Ход роста дорубочных и послерубочных пихтачей  
Канского лесничества и пихтовых древостоев Сибири

Таксационные показатели	Возраст, лет											
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Среднесибирский подтаежно-лесостепной район (КГБУ «Канское лесничество»)												
Модальные послерубочные пихтачи разнотравные (III класс бонитета)												
Диаметр, см	–	0,4	1,8	3,8	7,8	11,3	14,0	16,2	18,0	19,5	20,7	21,7
Высота, м	–	1,0	2,9	4,8	8,2	10,7	12,6	14,0	15,0	15,9	16,6	17,2
Запас, м <sup>3</sup> /га	2	7	15	28	68	115	157	190	213	228	237	243
Модальные дорубочные пихтачи зеленомошниковые (III–IV класс бонитета)												
Диаметр, см	–	–	–	5,8	8,2	10,5	12,4	14,2	15,8	17,3	18,6	19,7
Высота, м	–	–	–	5,9	8,3	10,5	12,3	14,0	15,5	16,7	17,9	18,9
Запас, м <sup>3</sup> /га	–	–	–	32	58	89	119	147	171	189	204	215
Модальные пихтачи средне- и южнотаежных экорегионов Среднесибирского плоскогорья (III класс бонитета)												
Диаметр, см	–	–	–	3,1	6,5	10,2	13,6	16,7	19,3	21,4	23,1	24,4
Высота, м	–	–	–	4,2	7,7	10,9	13,8	16,2	18,1	19,6	20,8	21,7
Запас, м <sup>3</sup> /га	–	–	–	17	47	86	125	160	188	210	227	240
Модальные пихтачи горных экорегионов юга Центральной Сибири (III класс бонитета)												
Диаметр, см	–	–	–	–	8,5	12,6	16,1	19,0	21,3	23,0	24,3	25,2
Высота, м	–	–	–	–	9,0	12,5	15,4	17,5	19,1	20,3	21,1	21,7
Запас, м <sup>3</sup> /га	–	–	–	–	66	105	140	169	192	209	223	233

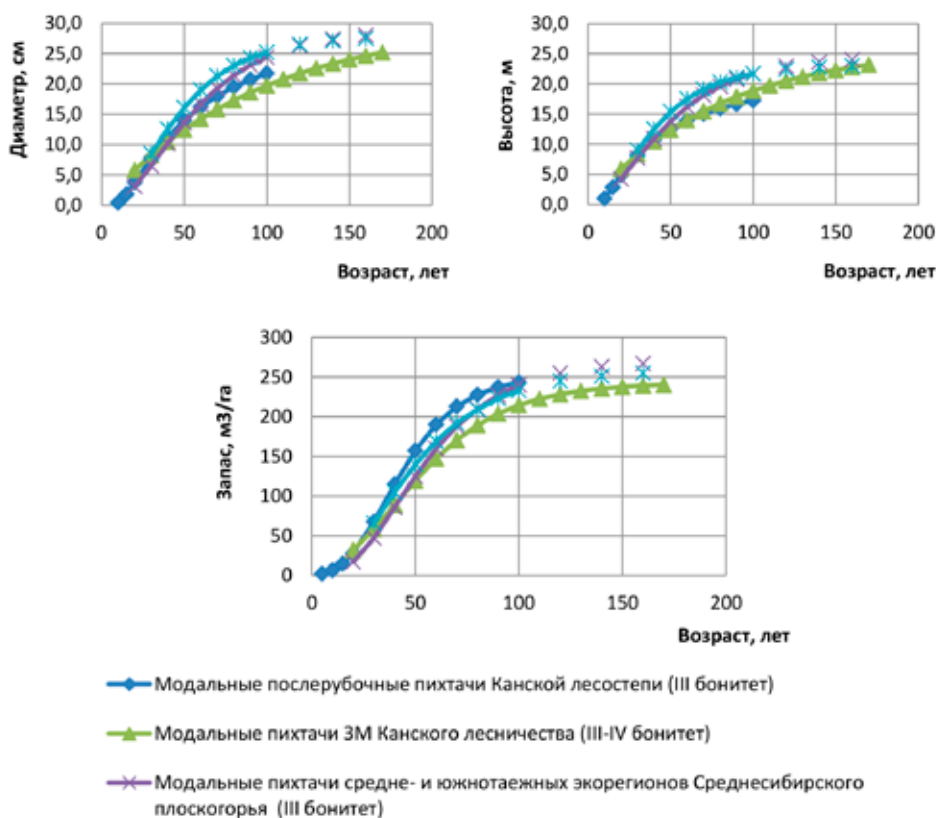


Рис. 2. Сравнительный анализ хода роста таксационных показателей пихтовых древостоев

Сравнение данных хода роста дорубочных и послерубочных пихтовых насаждений Канского лесничества выполнялось с данными хода роста древостоев пихты Сибири [10, 11] и представлено в табл. 3 и на рис. 2.

Визуальное представление линий развития пихтачей (рис. 2) позволяет установить следующие особенности роста. Отличие кривой диаметров послерубочных насаждений от динамики кривых в дорубочных условиях (в естественных условиях места произрастания), объясняется высокой густотой и активным ростом послерубочной генерации пихтового подростка, а также высокой сохранностью благонадежного подраста предшествующей генерации.

Динамика высот пихтачей послерубочных (зеленомошниковых) и дорубочных (зеленомошниковых) имеет идентичную кривизну линии роста (условия меняются незначительно). Различие кривых в возрасте 80–90 лет связано с сукцессионным циклом (циклическостью пихтовой представленности в составе древостоя) по причине естественного отпада деревьев пихты, являющихся ранее подростом предшествующей генерации (для них наступает стадия распада).

Кривая запасов послерубочных насаждений выше сравниваемых линий, что объясняется высокой густотой, составом древостоя (преобладание лиственных пород), более высоких диаметров. Активный рост по запасу наблюдался в возрастном периоде 25–75 лет, и, в свою очередь, к 100 годам величина достигла своего максимума. Это связано с интенсивным ростом лиственных пород. Далее начинается сукцессионная стадия формирования из лиственных пихтовых насаждений.

Кривые средних диаметров и высот пихтачей Канского лесничества расположены ниже соответствующих линии для условий средне- и южнотаежных экорегионов Среднесибирского плоскогорья и горных экорегионов юга Центральной Сибири, исключением явилась регрессия запасов.

### Заключение

В результате проведенного исследования получен ряд выводов.

– В послерубочных насаждениях происходит формирование пихтово-лиственных (чаще лиственно-пихтовых) древостоев, сильно отличающихся по составу от материнских древостоев и подпологового подростка. Количество пихтового элемента в насаждениях по мере роста увеличивается за счет прироста последующей генерации.

– Получен ряд регрессионных уравнений, прогнозирующих динамику роста основных таксационных показателей фор-

мирующихся послерубочных пихтовых насаждений Канского лесничества до 100 лет после проведения сплошных рубок.

– Динамика роста средних диаметров и запасов послерубочных пихтачей существенно отличается от дорубочных (коренных) пихтовых насаждений. По высоте эти древостой идентичны, что указывает на однородность условий местопроизрастания. Но при этом высокий запас послерубочных пихтачей объясняется смешанным составом и высокой густотой формирующихся древостоев.

– Ход роста дорубочных и послерубочных насаждений отличается от действующих нормативных таблиц применительно к возрастной динамике модальных пихтовых древостоев Сибири.

Результаты возрастной динамики основных таксационных показателей послерубочных модальных пихтовых насаждений необходимо учитывать при проведении сплошных рубок в условиях Канской лесостепи, а также для организации мероприятий по уходу с целью повышения продуктивности пихтовых древостоев.

### Список литературы

1. Третьяков С.В., Горбунов А.А., Феклистов П.А. Ход роста смешанных модальных среднетаежных насаждений с преобладанием сосны в Архангельской области // Известия высших учебных заведений. 2013. № 5. С. 47–53.
2. Турчин Т.Я., Завгородняя А.С. Ход роста чистых и смешанных насаждений тополя белого в пойме Дона // Лесоведение. 2013. № 1. С. 23–29.
3. Батвенкина Т.В. Регрессионные модели хода роста основных лесобразующих пород Кординского лесничества // Хвойные бореальные зоны. 2015. Т. 33. № 3–4. С. 116–121.
4. Ветошкина И.Н., Вайс А.А., Батвенкина Т.В. Ход роста лиственных насаждений в условиях Алтае-Саянского горно-лесного района // Хвойные бореальные зоны. 2019. Т. 37. № 5. С. 284–288.
5. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Ход роста в высоту и по диаметру искусственных сосновых насаждений в зависимости от положения на рельефе // Молодой ученый. 2016. № 1 (105). С. 273–276.
6. Басакова И.Н. Ход роста искусственных насаждений сосны обыкновенной в условиях Бузулукского бора // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XV международной научно-практической конференции, (Кемерово, 06–07 декабря 2016 г.). С. 718–722.
7. Старунова Н.А., Ким Е.Э. Ход роста искусственных насаждений лиственницы Даурской // Современные технологии воспроизводства экологической среды на урбанизированных территориях: материалы международной научно-практической студенческой конференции (Хабаровск, 11–16 октября 2016 г.). Хабаровск, 2016. С. 77–81.
8. Моисеев В.С., Мошкалева А.Г., Нахабцев Н.А. Методика составления таблиц хода роста и динамики товарной структуры модальных насаждений. Л.: ЛенЛТА, 1968. 87 с.
9. Семечкин И.В. Опыт использования данных глазомерной таксации для изучения динамики насаждений // Организация лесного хозяйства и инвентаризация лесов: сб. ст. Вып. 1. Красноярск, 1962. С. 119–131.
10. Калачев В.А., Вайс А.А. Ход роста модальных пихтовых насаждений в различных типологическо-территориальных группах // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1 (103). Ч. 2. С. 107–114.
11. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород северной Европы // Нормативно-справочные материалы. 2-е изд., доп. М., 2008. С. 887.