

Д.С. Тюрин, Д.А. Данилов, О.П. Ковалева, Д.А. Зайцев

ОЦЕНКА БАЛАНСОВОГО ВЫХОДА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПРИ УСКОРЕННОМ ВЫРАЩИВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Введение. Переход на интенсивное лесное хозяйство это, прежде всего такой режим лесного хозяйства, при котором выращивание ценных с точки зрения экономики и экологии древесных растений определяет структуру и состав лесных насаждений [Шутов, Жигунов, 2008; Царев, 2010; Паничев, 2014; Торжков, 2015; Bull et al., 2006; Routa et al., 2019]. Решение проблемы потребления древесных ресурсов в Северо-Западном регионе страны за счет плантационного выращивания древесины сосны и ели и обоснования пригодности такой древесины для химической переработки с целью получения целлюлозы, пригодной для использования в различных целях, актуально в настоящее время.

Искусственные лесные насаждения с коротким периодом ротации, или лесные плантации – это насаждения, созданные и выращенные для получения древесины с заранее заданными параметрами для использования на конкретном предприятии [Гелес, 2007; Соколов и др., 2013; Шутов и др., 2007]. На таких плантациях с помощью промышленных технологий древесина выращивается в больших количествах и гораздо быстрее, чем в лесах естественного происхождения с полным периодом выращивания. Лесовыращивание в данной модели направлено на увеличение количества определенных видов древесного сырья с заданными характеристиками [Evans, 2004; Rykalainen et al., 2009].

При целевом выращивании леса, наряду с таксационными параметрами древостоя в целом, необходимо учитывать его качественную продуктивность, т. е. товарную структуру древостоя и технические свойства древесины [Корчагов, 2009, 2010; Мелехов и др., 2013, 2021; Маркова и др., 2004; Savill et al., 1997; Barua et al., 2014].

Вопрос качественных показателей древесины, выращиваемой по интенсивной технологии, остается открытым, так как сравниваются объекты, несопоставимые по степени уходов за ними и по географическому расположению [Полубояринов, Федоров, 1991; Штукин и др., 2013; Сте-

паненко, Данилов, 2013; Мелехов и др., 2013; Тюрин и др., 2016; Пеккоев, 2016].

В настоящее время один из таких опытных объектов плантаций ели, расположенный в Северо-Западном регионе России, достиг возраста проектируемого для проведения сплошной рубки для получения балансового сырья [Шутов, Жигунов, 2008; Маркова и др., 2004; Тюрин и др., 2016].

Промышленное выращивание качественной древесины целевого назначения, в особенности для деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, является сегодня актуальной задачей. Решение проблемы потребления древесных ресурсов за счет плантационного выращивания древесины сосны и ели и обоснование пригодности такой древесины для химической переработки с целью получения целлюлозы, для использования в различных целях востребовано в настоящее время [Гелес, 2007; Корчагов, Стребков, 2012; Danilov et al., 2020]. Продуктивность плантационных культур, как объекта целевого выращивания древесины, оценивается по величине получаемого урожая определенных видов сортиментов.

Основными видами сортиментов, выращиваемых на плантациях в России, являются хвойные балансы – сырье для целлюлозно-бумажной промышленности, а также хвойные пиловочные бревна – сырье для лесопильного производства [Корчагов, 2009; Денисов, Глушкова, 2011; Паничев, 2014]. Следует также отметить, что при целевом выращивании мелкой и средней деловой древесины, используемой в качестве балансов, к возрасту финальной рубки (40–50 лет) прогнозируемое оптимальное число растений может составлять 1,1–1,2 тыс. шт./га. При этом коммерческое разреживание плантационных культур должно проводиться в их возрасте 25–30 лет [Маркова и др., 2004; Шутов, Жигунов, 2007; Шутов и др., 2008].

Только на основе проведенных долговременных экспериментов можно делать выводы о режимах регуляции густоты и качественных характеристиках древесины ели и сосны, выращенных по плантационной технологии. Механизм формирования плотности древесины при ускоренном выращивании хвойных пород до конца не исследован, не изучен компонентный состав такой древесины, а также возможный выход технической целлюлозы из этого сырья. Поэтому для объективной оценки качества древесного сырья необходимо проводить исследования, в которых бу-

дет рассмотрено влияние режимов ускоренного выращивания на плотность древесины и содержание в ней целлюлозы в плантационных культурах ели и сосны в условиях бореальной зоны России.

Объекты. Опытные объекты расположены на территории Северо-Западного региона России в Ленинградской области. Объектами исследования были плантационные культуры, заложенные сотрудниками ЛЕННИИЛХа (ныне СПбНИИЛХ) в Гатчинском районном лесничестве, ели в Орлинском участковом лесничестве, квартал 93, сосны в Дружносельском участковом лесничестве, квартал 81.

Задача опыта состояла в изучении влияния различной густоты культур и агротехнических мероприятий на продуктивность ели и сосны в посадках плантационного типа для получения балансовой древесины по короткой ротации выращивания к возрасту насаждения 40 лет.

Участок для создания плантаций – бывший сенокос, сравнительно ровный, интенсивно осушенный, низкого качества с возобновлением кустарниковых пород ивы и ольхи. На площади выполнена очистка территории от кустарника и порубочных остатков; экскаватором Э-304 обновлены каналы мелиоративной сети до глубины 1,0–1,4 м, корчевателем Д-513А удалены пни и валуны, опытная площадь разбита на технологические полосы с помощью визиров, подготовлены пласты и нарезаны борозды с расстоянием между центрами борозд 6 м. Подготовительные работы выполнены летом 1975 г., посадка культур ели – в мае 1976 г., а посадка культур сосны – в мае 1977 г.

Варианты опыта по густоте насаждений ели – 1000, 2000 и 4000 шт./га с использованием 3-летних сеянцев с открытой корневой системой ели европейской.

Густота посадки сосновых плантаций – 4 тыс. шт./га, 2-летние сеянцы с открытой корневой системой, шаг посадки – 0,8 м. В 1991 г. на всех пробных площадях, за исключением контроля, проведено разреживание сосны до густоты 1,5 тыс. шт./га.

Зимой 2000–2001 гг. проведено разреживание на не пройденных рубкой ухода 26-летних насаждениях ели до густоты 2 тыс. шт./га на пробных площадях с первоначальной густотой 4000 шт./га. На опытных участках с первоначальной густотой 2000 шт./га также было проведено разреживание до 1,5 тыс. шт./га. Описание опытных объектов более подробно приведено в ряде работ [Маркова и др., 2004, 2008; Шутов и др., 2007; Степаненко, Данилов, 2013].

Таблица 1

**Таксационные показатели на объектах исследования
в плантационных насаждениях ели и сосны к возрасту 40 лет**

**Taxation indices on the study objects in plantation stands of spruce
and pine by the age of 40 years**

Вариант опыта	40 лет (2016 г.)			
	густота, шт./га	d _{1,3} , см	h, м	запас, м ³ /га
Плантационные культуры ели				
Густота 1 тыс. шт./га	950	23,7	19,7	424
Густота 2 тыс. шт./га	1300	19,7	19,0	384
Густота 4 тыс. шт./га	1600	18,1	19,5	407
Густота 2 тыс. шт./га (проведена рубка)	1065	23,3	20,3	468
Густота 4 тыс. шт./га (проведена рубка)	1050	19,7	20,0	336
Плантационные культуры сосны				
Густота 1.5 тыс. шт./га	1000	21,1	20,3	288
Густота 1.5 тыс. шт./га	1200	21,8	20,2	359
Густота 1.5 тыс. шт./га	1400	20,0	20,2	341

Методика исследования. Для определения выхода целлюлозы из древесины ели и сосны и возможного выхода целлюлозы на основе модельных образцов древесины из плантационных насаждений густотой 1000 и 1200 штук на га, было проведено исследование стволовой древесины ели на протяженности ствола 12 м. Данная размерность соответствует двум по 6 м стандартным товарным сортаментам при заготовке древесины. Определена плотность древесины по методу Полубояринова [1976]. Далее на основе отобранных образцов древесины по высоте ствола приготавливалась щепа для опытной варки.

Проведение сульфатной варки щепы древесины сосны и ели шло в лабораторных условиях в автоклавах вместимостью 0,4 дм³ обогреваемых в глицериновой бане. В каждый автоклав загружали 60 г воздушно-сухой щепы в соотношении содержания ее в древесине и заливали белым щелоком с гидромодулем 4,5:1. Автоклавы герметично закрывали и помещали в предварительно разогретую до 100 °С глицериновую баню. Подъем температуры до конечной осуществляли в течение 120 мин. Варку

на конечной температуре продолжали от 1,5 до 3 ч для поиска оптимальной степени делигнификации [Оболенская и др., 1991; Носкова, Синяев, 2016]. По окончании варки автоклавы охлаждали, вскрывали и отбирали отработанный варочный раствор. Целлюлозу выгружали, подвергали промывке и сортированию на лабораторной сетке, затем анализировали. Варка осуществляется согласно расчету Н-фактора, для хвойной древесины Н-фактор составляет 2900 [Оболенская и др., 1991].

Результаты проведения варки еловой и сосновой древесины представлены в табл. 2.

Таблица 2

Выход целлюлозы по сортиментам еловой древесины**Cellulose yield by spruce wood grades**

№ образца	Кол-во абс. сухой щепы, взятой на варку, г	Кол-во влажной целлюлозы, г	Коэффициент сухости	Кол-во абс. сух. целлюлозы, г	Кол-во абс. сух. непровара, г	Выход целлюлозы, %	Выход непровара, %	Общий выход, %
1, 2, 3	35,54	57,42	0,23	13,32	1,10	37,49	3,10	40,59
4, 5, 6	35,69	66,54	0,23	15,44	–	43,26	–	43,26

В результате исследований получена мягкая целлюлоза с содержанием остаточного лигнина менее 1,0% с пониженным выходом 40%, практически без содержания непровара. Данный волокнистый полуфабрикат может быть использован для дальнейшей химической переработки. При получении целлюлозы для производства бумаги желательное сохранение гемицеллюлоз, при этом содержание остаточного лигнина может достигать 3–5%. Выход сульфатной целлюлозы из древесины ели, предназначенной для производства бумаги и картона, обычно составляет 42–48% [Никитин и др., 1978; Гелес, 2007; Оболенская и др., 1991].

Для плантационной древесины сосны полученные результаты, приведенные в табл. 3, показывают, что пробная сульфатная варка при разных режимах прошла без затруднений. Имеется принципиальная возможность применения данной древесины для производства целлюлозы пригодной для изготовления картона и технических видов бумаги [Danilov et al., 2020]. Ориентировочно выход сульфатной целлюлозы средней жесткости составляет 43,3–44,2% из древесины сосны заготавливаемой в таежной зоне Европейской части России.

Таблица 3

Результаты варки древесины сосны**Results of pine wood pulping**

№ варки	Время варки	Концентрация остаточной щелочи, г Na ₂ O/дм ³	Выход целлюлозы, %	Жесткость целлюлозы в перманганатных единицах
1	1:30	17,05	47,45	143
2	2:00	16,43	47,78	130
3	2:30	15,19	45,25	116
4	3:00	14,26	44,80	109

Проведенная сульфатная экспериментальная варка древесины ели и сосны показала принципиальную возможность применения данной древесины для производства целлюлозы пригодной для изготовления картона и технических видов бумаги. В целом компонентный состав исследованной древесины сосны из плантационных насаждений довольно однороден по своим показателям по сравнению с древесиной более старших естественных древостоев, что также немаловажно для использования ее в качестве сырья для нужд целлюлозно-бумажного производства.

Балансовая продуктивность насаждений (Мб.) – величина, показывающая выход целлюлозы (т) из древесных стволов, произрастающих на площади 1 га. Понятие «балансовая продуктивность» и рекомендации по ее расчету были предложены и рассмотрены в работах Корчагова С.А. [Корчагов, 2009; Корчагов, 2010; Корчагов, 2012; Мелехов, и др., 2013].

Основным критерием оценки древесной продуктивности насаждений служит запас древесины. При определении древесной продуктивности плантационных лесных культур, наряду с расчетом общего запаса стволовой древесины, целесообразно устанавливать выход выращиваемых целевых сортиментов, что позволит наиболее объективно судить о режиме ускоренного выращивания плантаций и состоянии насаждения на определенном этапе выращивания. Формула для расчета балансовой продуктивности имеет вид:

$$Мб. = V / H, \quad (1)$$

где V – выход балансовой древесины, м³/га; H – норма расхода древесины на производство одной тонны целлюлозы, м³/т.

Норма расхода древесины на производство одной тонны целлюлозы по варке вычислена с учетом рекомендаций как:

$$H = 880 / P_{\text{баз.}} \cdot P \cdot 100/K, \quad (2)$$

где 880 – содержание абсолютно сухого вещества в одной тонне древесного сырья при влажности 12%, кг/т; $P_{\text{баз.}}$ – базисная плотность древесины, кг/м³; P – выход целлюлозы, % от древесины, загружаемой в котел; K – коэффициент полезного использования технологической древесины, в долях единицы от неокоренной древесины.

В качестве конечной продукции при расчетах выбрана сульфатная целлюлоза, как наиболее важный и распространенный вид волокнистых полуфабрикатов. Сульфатный способ – наиболее распространенный метод получения целлюлозы на сегодняшний день. Недостатком его является выделение большого количества сернистых соединений: метилмеркаптана, диметилсульфида и других – в результате побочных реакций.

Сульфатная целлюлоза обладает высокими механическими показателями. Бумага из нее более плотная, термостойкая, менее подвержена деформации. Поэтому сульфатная целлюлоза успешно используется для изготовления бумаг, обладающих высокой прочностью (упаковочных и оберточных электротехнических бумаг, бумаг-основ), и в композиции других видов бумаг для повышения механических показателей. Добавка сульфатной целлюлозы в композицию бумаги повышает ее прочность во влажном состоянии. Волокна сульфатной целлюлозы более гибкие, на их поверхности меньше микротрещин, они труднее размалываются, меньше укорачиваются при размоле, чем сульфитные. Все вышесказанное предопределило выполнение наших расчетов для сульфатной целлюлозы [Гелес, 2007; Евстигнеев, 2010; Носкова, Синяев, 2016].

Выход сульфатной целлюлозы по варке (P , %) принят на основании проведенных опытных варок рассмотренных выше. Для сосны он составил 44%, а для ели 42%.

Коэффициент полезного использования технологической древесины (K) рассчитывался путем перемножения коэффициентов выхода технологической древесины по отдельным стадиям производственного процесса ее подготовки по формуле:

$$K = K_p \cdot K_o \cdot K_{p.c.}, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент выхода древесины при распиловке; K_o – коэффициент выхода древесины при окорке; $K_{p.c.}$ – коэффициент выхода древесины при рубке, дезинтегрировании и сортировке щепы.

$$K_{p.c.} = P_p + P_o + P_{p.c.}, \quad (4)$$

где P_p – процент потерь и отходов древесины при распиловке (исключен из расчета с учетом поступления на ЦБК сырья необходимого размера); P_o – процент потерь и отходов древесины при барабанной окорке (1,2%); $P_{p.c.}$ – процент потерь и отходов древесины при рубке, дезинтегрировании и сортировке щепы (6,0%).

Проценты потерь и отходов древесины P_p , P_o , $P_{p.c.}$ определялись на основании справочных данных [Корчагов, 2010].

Результаты и обсуждение. Был произведен расчет выхода балансовой древесины сосны и ели с использованием товарных таблиц, приведенных в руководстве «Сортиментные и товарные таблицы для лесов Северо-Запада европейской части СССР» [Мошкалев и др., 1987]. При этом к балансовой древесине отнесены деловые сортименты всех категорий крупности и технологическое сырье, которое можно использовать для нужд целлюлозно-бумажной промышленности (табл. 4).

Таблица 4

**Средний выход балансовых сортиментов из стволов сосны и ели
в плантационных насаждениях в вариантах опыта, м³/га
при короткоротационной схеме выращивания**

Average yield of balance assortments from pine and spruce trunks in plantation stands in the experiment variants, m³/ha under short-rotation cultivation scheme

Густота на начало опыта и к возрасту 40 лет, шт. на га	Балансовая древесина, м ³	Сырье на техноло- гическую щепу, м ³	Отходы, м ³	Всего, м ³
Плантационные культуры сосны				
1500/1000	288	12	20	320
1500/1200	359	9	22	390
1500/1400	341	10	21	372
Плантационные культуры ели				
1000/ 950	283	8	28	319
2000/1300	299	9	31	339
4000/ 1600	318	12	33	353
разреженные до 1200/1065	248	8	16	272
разреженные до 1500/1050	349	11	27	387

Как показывают результаты выполненных расчетов, при короткоротационном лесовыращивании выход балансовой древесины с

единицы площади для сосны составляет от 300 до 368 м³/га, для ели от 385 до 408 м³/га.

Основываясь на полученных данных выхода балансовой древесины и ее плотности, сделан расчет балансовой продуктивности плантационных лесных культур ели и сосны. Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты расчета балансовой продуктивности плантационных культур ели и сосны в возрасте 40 лет

Results of calculating the balance productivity of spruce and pine plantation crops at the age of 40 years

Густота на начало опыта и к возрасту 40 лет, шт. на га	Балансовая древесина, м ³	Базисная плотность древесины ($P_{баз.}$), кг/м ³	P , %	K	H , м ³ /т	Выход с 1 га
Плантационные культуры сосны						
1500/1000	300	431	44	9,2	1,5	45
1500/1200	368	370	44	9,2	2,2	81
1500/1400	351	415	44	9,2	1,8	63
Плантационные культуры ели						
1000/ 950	291	391	42	9,4	1,7	48
2000/1300	308	385	42	9,4	1,8	54
4000/ 1600	330	393	42	9,4	1,9	60
разреженные до 1200/1065	256	391	42	9,4	1,5	37
разреженные до 1500/1050	360	408	42	9,4	1,7	59

Для производства 1 тонны целлюлозы из древесины сосны требуется от 4,2 до 6 м³, а для ели от 5,2 до 6 м³ древесины выращиваемой по интенсивной технологии. Рыночная цена небеленой товарной целлюлозы на российском рынке на период третьего квартала 2023 года в регионе Санкт-Петербурга и Ленинградской области составляла в среднем от 30 до 60 тыс. руб. за 1 т [<https://tk-solutions.ru/russia-rynok-cellyulozy-i-drevesnoj-massy>; <https://www.lesprom.com/ru/news/>; <http://www.regorg.ru/goods/celljuloz-a.html>; <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/osn-04-2023.pdf>; <https://exportv.ru/zavod/cellyuloza-ot-proizvoditelya.html>].

В соответствии с этими показателями была выполнена оценка стоимости товарной целлюлозы при наших значениях балансовой продуктивности. Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Таблица 6

Расчет стоимости товарной небеленой целлюлозы из древесины сосны и ели на 1 га плантационных насаждений, выращиваемых по интенсивной технологии

Calculation of the cost of marketable unbleached pulp from pine and spruce wood per 1 ha of plantations grown under intensive technology

Густота на начало опыта и к возрасту 40 лет, шт. на га	Выход товарной целлюлозы, т/га	Стоимость 1 т целлюлозы, тыс. руб.	Стоимость целлюлозы на 1 га, тыс. руб.
Плантационные культуры сосны			
1500/1000	45	30–60*	1350–2700
1500/1200	81		2430–4860
1500/1400	63		1890–3780
Плантационные культуры ели			
1000/ 950	48	30–60*	1440–2880
2000/1300	54		1620–3240
4000/ 1600	60		1800–3600
разреженные до 1200/1065	37		1110–2220
разреженные до 1500/1050	59		1770–3540

Примечание: обозначенные «*» – по данным интернет-порталов на июнь-июль 2023 года для СПб и ЛО

Таким образом, стоимость товарной небеленой целлюлозы в расчете на 1 га плантационных лесных культур сосны в их возрасте 40 лет составляет в среднем от 1350 до 4860 рублей. Для еловых плантационных культур стоимость составляет от 1110 до 3600 рублей.

Выводы. Проведенная сульфатная экспериментальная варка древесины ели и сосны показала принципиальную возможность применения данной древесины для производства целлюлозы, пригодной для изготовления картона и технических видов бумаги.

На основании проведенного анализа расчетов балансовой продуктивности плантаций сосны и ели, выращиваемых по короткоротационной схеме, определен оптимальный режим выращивания для данных насаждений с точки зрения получения максимального объема товарной небеленой целлюлозы.

При выращивании на балансовую древесину сосновых насаждений оптимальным по густоте и запасу является вариант с густотой 1200 деревьев к возрасту рубки 40 лет. Для плантаций ели оптимальными по своим показателям выхода небеленой целлюлозы явились варианты насаждений с запасом и густотой в диапазоне 1100–1600 штук на га.

Следовательно, при интенсивном лесовыращивании данные режимы регулирования густоты для плантаций сосны и ели являются оптимальными для получения максимального количества сырья для получения целлюлозы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск; Карельский научный центр РАН, 2007. 499 с.

Данилов Д.А., Тюрин Д.С. Строение и плотность древесины ели в плантационных культурах // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2017. № 4. С. 41–48.

Денисов С.А., Глушкова Ю.П. Особенности роста плантационных культур ели при выращивании балансовой древесины в связи с лесоводственными уходами // Вестник МарГТУ. 2011. № 1. С. 31–38.

Евстигнеев Э.И., Павлова Е.А. и др. Химия древесины и синтетических полимеров: часть 1: учебно-метод. пособие. СПб.: СПб ГТУРП, 2010. 37 с. URL: www.nizrp.narod.ru

Маркова И.А., Шестакова Т.А., Большакова Н.В., Бутенко О.Ю. Обобщение 30-летнего опыта плантационного лесовыращивания в таежной зоне России // Труды СПбНИИЛХ. 2004. Вып. 2 (12). С. 58–76.

Маркова И.А., Шестакова Т.А., Бутенко О.Ю., Большакова Н.В., Степанова О.П. Лесосырьевые плантации сосны и ели. СПб.: ФГУ «СПбНИИЛХ», 2008. Вып. 1(17). 158 с.

Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корагов С.А., Щекалев Р.В. Комплексная оценка качества древесины сосны в лесных культурах разных условий местопроизрастания // Лесоведение. 2021. № 2. С. 208–216.

Мелехов В.И., Корчагов С.А., Бабич Н.А. Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах : монография. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2013. 130 с.

Мошкалев А.Г., Давидов Г.М., Кушев В.Г. Сортиментные и товарные таблицы для лесов Северо-Запада европейской части СССР. М., 1987. 47 с.

Корчагов С.А., Андропова М.М., Грибов С.Е., Яковлева О.Ю. Обоснование выбора древесных пород при целевом выращивании сырья для целлюлозно-бумажной промышленности // Экология промышленного производства. 2009. № 4. С. 48–51.

Корчагов С.А., Стребков Н.Н. Экономико-квалиметрическая оценка культур сосны и ели в Вологодской области // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2012. № 3(21). С. 167–171.

Корчагов С.А. Повышение качественной продуктивности насаждений на лесоводственной основе : специальность 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство», 06.03.02 «Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация» : дисс. ... д-ра с.-х. наук. Архангельск, 2010. 339 с.

Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Лесная пром-ть. 1978. 368 с.

Носкова О.А., Синяев К.А. Химия древесины и целлюлозы: учеб.-метод. пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. 45 с.

Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.

Паничев Г.П. Плантационное выращивание лесных ресурсов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2014. № 3 (103). С. 67–71.

Пеккоев А.Н. Качество древесины культур ели при ускоренном лесовыращивании // ИВУЗ. Лесной журнал. 2016. № 1. С. 89–99.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.

Полубояринов О.И., Федоров Р.Б. Качество древесины культур сосны плантационного типа на Северо-Западе Европейской части СССР // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛТА, 1991. С. 89–95.

Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А., Кривенко Т.И. Ускоренное выращивание культур ели в среднетаежной подзоне Карелии // Лесной журнал. 2013. № 5. С. 96–105.

Степаненко С.М., Данилов Д.А. Строение и плотность древесины ели и сосны в плантационных культурах Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2013. Вып. 204. С. 35–46.

Торжков И.О. Предпосылки развития лесного предпринимательства на базе промышленных лесосырьевых плантаций // Социально-экономические явления и процессы. 2015. № 10.

Тюрин Д.С., Данилов Д.А., Данилов Ю.И. Фитомасса и плотность древесины ели в 40-летних плантационных культурах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 214. С. 120–130.

Шутов И.В., Маркова И.А., Омеляненко А.Я. и др. Плантационное лесоводство. СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2007. 366 с.

Щутов И.В., Жигунов А.В. О производстве древесины на лесосырьевых плантациях // Лесное хозяйство. 2008. № 4. С. 31–33.

Штукин С.С., Пауль Э.Э., Волович П.И. Изменение качества древесины на лесных плантациях сосны и ели // Труды БГТУ. 2013. № 1. С. 129–131.

Царев А.П. Мировой опыт плантационного лесовыращивания / Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2010. № 6(111). С. 42–48

Barua S.K., Lehtonen P., Pahkasalo T. Plantation vision: potentials, challenges and policy options for global industrial forest plantation development // The International Forestry Review. 2014. 16 (2). P. 117–127

Bull G.Q., Bazett M., Schwab O., Nilsson S., White A. And Maginnis S. Industrial forest plantation subsidies: impacts and implications // Forest Policy and Economics. 2006. 9. P. 13–31.

Danilov D.A., Griazkin A.V., Sokolova V.A., Bacherikov I.V. The component composition of planted pine wood cultivated in the boreal zone // Nordic Pulp and Paper Research Journal. 2020. Vol. 35, no. 4. P. 685–693. DOI: 10.1515/npprj-2020-0058.

Evans J. Sustainability of forest plantations // Burley J., Evans J., Youngquist J. et al. Encyclopedia of Forest Science. 2004. Vol. 2. Elsevier, Oxford. P. 865–872.

Pykalainen J., Kurttila M. Development of forest planning in Finland: Methods and experience. 2009.

Routa J., Kilpeläinen A., Ikonen V-P. et al. Effects of intensified silviculture on timber production and its economic profitability in boreal Norway spruce and Scots pine stands under changing climatic conditions // Int J. For Res. 2019. DOI: 10.1093/forestry/cpz043 116.

Savill P.S., Evans J., Auclair D., Falck J. Plantation Silviculture in Europe. Oxford: Oxford University Press, 1997. 312 p.

URL: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-cellyulozy-i-drevesnoj-massy>

URL: <https://www.lesprom.com/ru/news/>

URL: <http://www.regorg.ru/goods/celljuloza.html>

URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/osn-04-2023.pdf>

URL: <https://exportv.ru/zavod/cellyuloza-ot-proizvoditelya.html>

Reference

Barua S.K., Lehtonen P., Pahkasalo T. Plantation vision: potentials, challenges and policy options for global industrial forest plantation development. *The International Forestry Review*, 2014, 16(2), pp. 117–127

Bull G.Q., Bazett M., Schwab O., Nilsson S., White A., Maginnis S. Industrial forest plantation subsidies: impacts and implications. *Forest Policy and Economics*, 2006, 9, pp. 13–31.

Danilov D.A., Griazkin A.V., Sokolova V.A., Bacherikov I.V. The component composition of planted pine wood cultivated in the boreal zone. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2020, vol. 35, no. 4, pp. 685–693. DOI: 10.1515/npprj-2020-0058.

Danilov D.A., Tyurin D.S. Structure and density of spruce wood in plantation cultures. *MSUL Vestnik – Lesnoy vestnik*, 2017, no. 4, pp. 41–48. (In Russ.)

Denisov S.A.; Glushkova Yu.P. Growth peculiarities of spruce plantation cultures in growing balance wood in connection with silvicultural care. *Vestnik MarSTU*, 2011, no. 1, pp. 31–38. (In Russ.)

Evans J. Sustainability of forest plantations. *Burley J., Evans J., Youngquist J. et al. Encyclopedia of Forest Science*, 2004, vol. 2. Elsevier, Oxford, pp. 865–872.

Evstigneev E.I., Pavlova E.A. et al. Chemistry of wood and synthetic polymers part 1. SPb.: SPb GTURP, 2010. 37 p. URL: www.nizrp.narod.ru (In Russ.)

Geles I.S. Wood raw materials – strategic basis and reserve of civilisation Petrozavodsk; Karelian Scientific Centre of RAS, 2007. 499 p. (In Russ.)

Korchagov S.A. Improving the quality productivity of plantations on a silvicultural basis : speciality 06.03.01 «Forest crops, selection, seed production», 06.03.02 "Forestry, forestry, forest management and forest taxation" : thesis for the degree of Doctor of Agricultural Sciences. Arkhangelsk, 2010. 339 p. (In Russ.)

Korchagov S.A., Andronova M.M., Gribov S.E., Yakovleva O.Y. Justification of the choice of tree species in the target cultivation of raw materials for pulp and paper industry. *Ecology of industrial production*, 2009, no. 4, pp. 48–51. (In Russ.)

Korchagov S.A., Strebkov N.N. Economic and qualimetric assessment of pine and spruce crops in the Vologda Oblast. *Economic and social changes: facts, trends, forecast*, 2012, no. 3(21), pp. 167–171. (In Russ.)

Markova I.A., Shestakova T.A., Bolshakova N.V., Butenko O.Y. Generalisation of 30 years of experience of plantation forest growing in the taiga zone of Russia. *Proceedings of SPbNIILKh*, 2004, 2 (12), pp. 58–76. (In Russ.)

Markova I.A., Shestakova T.A., Butenko O.Yu., Bolshakova N.V., Stepanova O.P. Forestry plantations of pine and spruce. SPb.: FGU «SPbNIILKh», 2008, vol. 1(17). 158 p. (In Russ.)

Melekhov V.I., Babich N.A., Koragov S.A., Shchekalev R.V. Integrated assessment of pine wood quality in forest cultures of different site conditions. *Lesovedenie*, 2021, no. 2, pp. 208–216. (In Russ.)

Melekhov V.I., Korchagov S.A., Babich N.A. Integrated assessment of coniferous wood quality in crops : a monograph. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. M.V. Lomonosov, 2013. 130 p. (In Russ.)

Moshkalev A.G., Davidov G.M., Kushev V.G. Sorting and commodity tables for forests of the North-West of the European part of the USSR. M., 1987. 47 p. (In Russ.)

Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. Chemistry of wood and cellulose: Textbook for universities. M.: Lesnaya prom-st', 1978. 368 p. (In Russ.)

Noskova O.A., Sinyayev K.A. Chemistry of wood and cellulose. Perm: Izd-vo Perm National Research Polytechnic University, 2016. 45 p. (In Russ.)

Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A. Laboratory works on the chemistry of wood and cellulose: Textbook for universities. Moscow: Ecology, 1991. 320 p. (In Russ.)

Panichev G.P. Plantation cultivation of forest resources. *MSUL Vestnik – Lesnoy Vestnik*, 2014, no. 3 (103), pp. 67–71. (In Russ.)

Pekkoev A.N. Wood quality of spruce cultures at accelerated forest growing. *IVUZ. Forest Journal*, 2016, no. 1, pp. 89–99. (In Russ.)

Poluboyarinov O. I. Wood density. M.: Lesn. prom-st, 1976. 160 p. (In Russ.)

Poluboyarinov O.I., Fedorov R.B. Wood quality of plantation-type pine cultures in the North-West of the European part of the USSR. *Forestry, forest crops and soil science: interuniversity collection of scientific works*. L.: LTA, 1991, pp. 89–95. (In Russ.)

Pykalainen J., Kurttila M. Development of forest planning in Finland: Methods and experience, 2009.

Routa J., Kilpeläinen A., Ikonen V.-P. et al. Effects of intensified silviculture on timber production and its economic profitability in boreal Norway spruce and Scots pine stands under changing climatic conditions. *Int. J. For Res.*, 2019. DOI: 10.1093/forestry/cpz043

Savill P.S., Evans J., Auclair D., Falck J. Plantation Silviculture in Europe. Oxford: Oxford University Press, 1997. 312 p.

Shtukin S.S., Paul E.E., Volovich P.I. Change of wood quality on forest plantations of pine and spruce. *Proceedings of BSTU*, 2013, no. 1, pp. 129–131. (In Russ.)

Shutov I.V., Markova I.A., Omelyanenko A.Ya. et al. Plantation forestry. St. Petersburg: St. Petersburg State Polytechnic University, 2007. 366 p. (In Russ.)

Shutov I.V., Zhigunov A.V. On timber production on forest plantations. *Forestry*, 2008, no. 4, pp. 31–33. (In Russ.)

Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A., Krivenko T.I. Accelerated cultivation of spruce in the middle taiga subzone of Karelia. *Lesnoj zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 96–105. (In Russ.)

Stepanenko S.M., Danilov D.A. Structure and density of spruce and pine wood in plantation cultures of the Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2013, no. 204, pp. 35–46. (In Russ.)

Torzhkov I.O. Prerequisites for the development of forest entrepreneurship on the basis of industrial timber plantations. *Socio-economic phenomena and processes*, 2015, no. 10. (In Russ.)

Tsarev A.P. World experience of plantation forest growing. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2010, no. 6(111), pp. 42–48. (In Russ.)

Tyurin D.S., Danilov D.A., Danilov Yu.I. Phytomass and wood density of spruce in 40-year plantation cultures. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2016, iss. 214, pp. 120–130. (In Russ.)

URL: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-cellyulozy-i-drevesnoj-massy>

URL: <https://www.lesprom.com/ru/news/>

URL: <http://www.regorg.ru/goods/celljuloza.html>

URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/osn-04-2023.pdf>

URL: <https://exportv.ru/zavod/cellyuloza-ot-proizvoditelya.html>

Материал поступил в редакцию 01.05.2023

Тюрин Д.С., Данилов Д.А., Ковалева О.П., Зайцев Д.А. Оценка балансового выхода целлюлозы при ускоренном выращивании древесины сосны и ели в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 247. С. 24–41. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.24-41

Проведено исследование качественных характеристик древесины сосны и ели, выращиваемой по интенсивной технологии в плантационных культурах в Ленинградской области. Количественные и качественные характеристики объемов древесины сосны и ели при короткоротационном интенсивном лесовыращивании позволяют получить сырье для целлюлозно-бумажного производства. Экспериментальные варки показали принципиальную возможность применения данной древесины для производства целлюлозы пригодной для изготовления картона и технических видов бумаги. На основании проведенного анализа расчетов балансовой продуктивности плантаций сосны и ели, выращиваемых по короткоротационной схеме, возможно определить оптимальный режим выращивания для данных насаждений с точки зрения получения максимального объема товарной небеленой целлюлозы. При выращивании на балансовую древесину для целлюлозно-бумажной промышленности сосновых насаждений оптимальным по густоте и запасу является вариант с густотой 1200 деревьев к возрасту рубки 40 лет. Для плантаций ели оптимальными по своим показателям выхода небеленой целлюлозы явились варианты насаждений с запасом и густотой в диапазоне 1100–1600 штук на га. При интенсивном лесовыращивании данные режимы регулирования густоты для плантаций сосны и ели являются оптимальными для получения максимального количества сырья для получения целлюлозы.

Ключевые слова: плантационные культуры сосны и ели, плотность древесины, балансовый метод оценки, сульфатная варка, выход небеленой целлюлозы, стоимостная оценка балансовой продуктивности.

Tyurin D.S., Danilov D.A., Kovalyova O. P., Zaytsev D.A. Estimation of pulpwood balance yield under accelerated growth of pine and spruce wood in the Leningrad Region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 24–41 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.24-41

The study of qualitative characteristics of pine and spruce wood grown under intensive technology in plantation crops in the Leningrad region has been carried out. Quantitative and qualitative characteristics of pine and spruce wood volumes under short-rotation intensive forest growing allow obtaining raw materials for pulp and paper production. Experimental pulping has shown the principal possibility of using this wood for pulp production suitable for cardboard and technical paper production. On the basis of the analysis of calculations of the balance productivity of pine and

spruce plantations grown under the short-rotation scheme, it is possible to determine the optimal growing regime for these plantations from the point of view of obtaining the maximum volume of marketable unbleached pulp. When growing pine plantations for balance wood for pulp and paper industry, the optimum density and stock is the variant with the density of 1200 trees by the cutting age of 40 years. For spruce plantations the optimums in terms of non-white pulp yield were plantations with stock and density in the range of 1100–1600 trees per hectare. At intensive forest growing these regimes of density control for pine and spruce plantations are optimal for obtaining the maximum amount of raw material for pulp production.

Keywords: pine and spruce plantation stands, wood density, balance estimation method, sulphate pulping, unbleached pulp yield, value estimation of balance productivity.

ТЮРИН Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: djdimaturn@gmail.com

TYURIN Dmitry S. – PhD student of the Department of Forestry of Federal State Educational Institution of St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: djdimaturn@gmail.com

ДАНИЛОВ Дмитрий Александрович – профессор кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия.

главный научный сотрудник Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха». ORCID: 0000-0002-7504-5743.

188338, Институтская ул., д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Россия. E-mail: stown200@mail.ru

DANILOV Dmitry A. – DSc (Agriculture), Professor of Forestry Department, St.Petersburg State Forestry University.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia;

principal researcher of Department of Agrochemistry and Agrolandscapes, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre. ORCID: 0000-0002-7504-5743.

188338. Institutskaya str. 1. Belogorka. Leningrad Region. Russia. E-mail: stown200@mail.ru

КОВАЛЕВА Ольга Петровна – доцент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук,

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lta_cbp@mail.ru

KOVALYOVA Olga P. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Wood and Cellulose Composite Materials Technology of St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lta_cbp@mail.ru

ЗАЙЦЕВ Дмитрий Андреевич – старший научный сотрудник отдела агрохимии и агроландшафтов Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха», кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0002-8704-6516.

188338, Институтская ул., д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Россия. E-mail: disoks@gmail.com

ZAYTSEV Dmitriy A. – PhD (Agriculture), senior researcher of Department of Agrochemistry and Agrolandscapes, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre. ORCID: 0000-0002-8704-6516.

188338. Institutskaya str. 1. Belogorka. Leningrad Region. Russia. E-mail: disoks@gmail.com