

1. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630.56+630.1

А.В. Лебедев, В.В. Гостев

ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ИЗ ПОЧВЫ КУЛЬТУРАМИ СОСНЫ РАЗНОЙ НАЧАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВНЕСЕНИЮ УДОБРЕНИЙ

Введение. В процессе роста древостоев происходит вынос химических элементов питания из почвы, и они на долгое время консервируются в фитомассе [Pretzsch, 2009]. Круговорот питательных веществ в лесных экосистемах активно изучается с конца XIX в. [Ericsson, 1994], а первые работы, посвященные исследованию питания деревьев и их потребности в почве, датируются серединой XVIII в. [Binkley, 1986]. В конце XIX – начале XX в. считалось, что потеря питательных веществ из почвы в результате хозяйственного выноса является незначительной. Дальнейшие исследования показали, что сокращение оборота рубки, переход к комплексному использованию древесины и порубочных остатков приводят к увеличению хозяйственного выноса и могут представлять угрозу для продуктивности лесного участка в долгосрочной перспективе [Bowen, Nambiar, 1984].

При проведении рубок спелых и перестойных лесных насаждений вынос элементов минерального питания с древесиной может превышать количество питательных элементов, которое экосистема способна восполнить естественным образом в течение определенного временного периода [Кондратьев, Ларикова 2017]. Потери питательных веществ не ограничиваются только химическими элементами, содержащимися в удаляемой при рубках фитомассе. Некоторые лесохозяйственные мероприятия (сжигание порубочных остатков, обработка гербицидами, вспашка и рыхление почвы) могут привести к значительным потерям азота и фосфора [Attiwill, 1981].

Для повышения и оптимизации почвенного плодородия, увеличения продуктивности древостоев, повышения качества продукции, получаемой

из древесины, в лесном хозяйстве применяются системы удобрений. При проектировании способов и сроков внесения удобрений, их количества особую актуальность имеет вопрос накопления химических элементов в фитомассе в процессе роста древостоев. Исследования в США в лесных культурах сосны показали [Fox et al., 2007], что в условиях недостатка в почве азота и фосфора снижается площадь листовой поверхности, которая является одним из основных факторов, определяющих скорость роста древостоя. Внесение в почву азота и фосфора позволило на опытных участках увеличить внутреннюю норму доходности от ведения лесного хозяйства на 16%.

И.С. Мелехов (1980) в системе мероприятий по повышению древесной продуктивности выделяет направление ускорения роста лесов путем воздействия на условия их произрастания через внесение удобрений. Наибольшая эффективность применения удобрения достигается лишь в совокупности с оптимальными лесорастительными условиями и обеспеченностью крон деревьев светом. Исходя из этого, Н.И. Казимиров с соавт. (1972) рекомендует проектировать систему удобрения с учетом начальной густоты посадки. По мнению В.С. Победова и В.Е. Волчкова (1972) определить потребности насаждений в элементах питания можно посредством изучения содержания минеральных веществ в различных фракциях древесного ствола, а также по результатам почвенного анализа.

Важным фактором, определяющим динамику продукционного процесса насаждений, а также интенсивность поглощения и накопления химических элементов фитомассой, является густота начальной посадки. Данный показатель оказывает существенное влияние на такие показатели древостоев, как средняя высота, средний диаметр, запас стволовой древесины [Мерзленко с соавт., 2016], интенсивность естественного изреживания [Кузьмичев, Пшеничникова, 2014] и др. В работах Г.С. Разина и М.В. Рогозина (2010^а, 2010^б) на основании общего закона развития одноярусных древостоев [Разин, 1977] сделан вывод, что каждый дендроценоз (кроме крайне редких исключений) единожды в своей жизни достигает предельных значений в развитии по сомкнутости крон и полога, абсолютной полноте, текущему приросту и запасам древесины, после чего снижает их тем интенсивнее, чем больше была начальная густота. Последние исследования [Географические культуры сосны ..., 2019; Дубенок, Кузьмичев, Лебедев, 2020] в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии показывают, что древостои в течение своей жизни могут несколько раз достигать предельных состояний, при этом на величину пре-

дельных сумм площадей сечений и запасов в лесных культурах оказывает влияние начальная густота.

Цель исследования – выявление динамики накопления элементов минерального питания в лесных культурах сосны различной начальной густоты посадки и разработка рекомендаций по повышению продуктивности древостоев посредством применения системы удобрений на основании данных хозяйственного выноса.

Методика исследования. Объектом исследования послужили сосновые древостои пробной площади 6/Я (0,1669 га) Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва). Пробная площадь была заложена М.К. Турским весной 1879 г. для изучения влияния густоты посадки на рост древостоев. Посадка сосны проводилась однолетними саженцами по два в одну ямку, сделанную колом по вспаханной почве. Участок разделен на три части: в восточной части опыта (делянка Я₃) густота посадки составила 8784 шт.·га⁻¹, в средней части опыта (Я₂) – 4232 шт.·га⁻¹, в западной части опыта (Я₁) – 2196 шт.·га⁻¹. С момента создания лесных культур сосны до настоящего времени имеются данные по 13 сплошным переучетам [Дубенок, Кузьмичев, Лебедев, 2020].

В работе использовались выровненные значения таксационных показателей от возраста древостоя [Дубенок, Кузьмичев, Лебедев, 2020]. Для зависимости средней высоты от возраста использовалась функция Митчерлиха. За начальную точку роста по среднему диаметру (среднеквадратическому) принимался возраст достижения средней высоты 1,3 м. Значения средних диаметров выравнивались с использованием полиномов различных степеней, что позволило учитывать индивидуальные особенности роста древостоев на каждой секции. Для выравнивания числа деревьев применялись методы кусочно-полиномиальной аппроксимации. Сумма площадей сечений рассчитывалась как произведение числа деревьев на площадь сечения среднего дерева. Запас древостоев рассчитывался через произведение суммы площадей сечений на видовую высоту. Расчет величины фитомассы древостоев производился с применением уравнений зависимости от среднего диаметра и средней высоты древостоя с поправкой на число деревьев [Хлюстов, Лебедев, Ефимов, 2015]. Величина чистой первичной продукции древостоев сосны обыкновенной по фракциям определялась с использованием уравнений зависимости от возраста и наличной фитомассы [Хлюстов, Лебедев, Ефимов, 2015; Дубенок, Кузьмичев, Лебедев, 2020].

Таблица 1

**Содержание элементов минерального питания
во фракциях фитомассы деревьев сосны обыкновенной**

**The content of mineral nutrition elements in fractions
of phytomass of Scots pine trees**

Химический элемент	Ствол, мг·г ⁻¹	Кора, мг·г ⁻¹	Ветви, мг·г ⁻¹	Листья, мг·г ⁻¹	Корни, мг·г ⁻¹
N	0,76	3,85	3,61	14,46	4,61
P	0,05	0,46	0,34	1,32	0,42
K	0,42	2,08	1,67	5,03	1,28
Ca	0,62	5,03	2,07	4,08	1,90
Mg	0,18	0,61	0,43	0,87	0,38

Вычисление содержания химических элементов выполнялось путем умножения значения фитомассы на соответствующий конверсионный коэффициент [Jacobsen et al., 2003]. Сопоставление конверсионных коэффициентов (табл. 1) с данными других исследований [Родин, Базилевич, 1965; Победов, Волчков, 1972; Кондратьев, Ларикова, 2017] показало возможность их использования для сосновых древостоев европейской части России.

Проектирование системы удобрений, нормативов, сроков и количества внесения по данным хозяйственного выноса с корректировкой на обеспеченность почвы производилось согласно Наставлению по системам применения удобрений в лесном хозяйстве на европейской территории СССР, утвержденным согласно приказу Госкомлеса СССР от 25.09.1991. Для корректировки системы удобрения в соответствии с почвенной обеспеченностью элементами минерального питания применялись данные обследования почвенных разрезов, заложенных в непосредственной близости от исследуемого древостоя [Науумов, Поляков, 2009].

Результаты исследования. Поток выноса элементов минерального питания древостоями из почвы отражает особенности их онтогенеза. В процессе роста во всех вариантах начальной густоты формируется два максимума кривой выноса элементов питания. До возраста первого максимума проявляется влияние начальной густоты: чем она выше, тем больше вынос. В древостоях с начальной густотой посадки 2200 шт.·га⁻¹ величина ежегодного выноса из почвы элементов минерального питания, который обеспечивается приростом фитомассы, составляет 146 кг·га⁻¹·год⁻¹, а у культур с густотой 4232 шт.·га⁻¹ – 162 кг·га⁻¹·год⁻¹ (рис. 1).

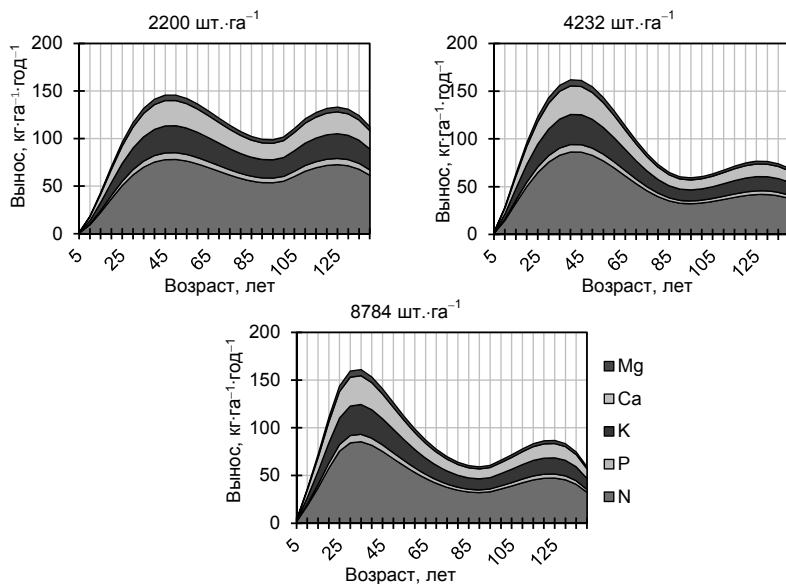


Рис. 1. Вынос элементов минерального питания древостоями при различной начальной густоте посадки

Fig. 1. Removal of mineral nutrition elements by stands at various initial planting densities

До возраста первого максимума вынос элементов минерального питания древостоями с начальной густотой 8784 шт.·га⁻¹ больше, чем с густотой посадки 4232 шт.·га⁻¹. Это связано с тем, что с увеличением начальной густоты сокращается срок наступления первого максимума текущего прироста. Получаемые расчетным путем величины фитомассы и чистой первичной продукции, а как следствие и содержание химических элементов, являются условными, поэтому различия в выносе элементов минерального питания древостоями с густотой посадки 4232 шт.·га⁻¹ и 8784 шт.·га⁻¹ визуально слабо различимы.

К достижению второго максимума проявляются индивидуальные особенности развития древостоев, и влияние оказывает уже не начальная густота, а текущая. Говоря о количественном соотношении в относительных единицах между элементами питания, формирующими ежегодный поток чистой первичной продукции, можно отметить, что оно приблизительно

одинаково для всех вариантов густот, так как для расчета массы отдельных элементов применялись одинаковые значения конверсионных коэффициентов.

Величины хозяйственного выноса элементов минерального питания из почвы были рассчитаны для двух различных сценариев проведения лесосечных работ. В первом случае заготовка древесины производится с оставлением порубочных остатков на лесосеке, а во втором предполагается их изъятие с лесосеки. На рис. 2,а представлен вынос элементов минерального питания с заготавливаемой древесиной в случае оставления порубочных остатков на лесосеке. Наибольшие потери почвы при данном варианте заготовки древесины будут отмечаться по азоту, кальцию и калию, что необходимо учитывать при проектировании системы удобрений.

При втором варианте хозяйственного выноса с лесосеки вывозится стволовая древесина и порубочные остатки для дальнейшей переработки. В этом случае потери почвы по кальцию и магнию возрастают в полтора раза, а по азоту, фосфору и калию увеличиваются в два раза (рис. 2,б). Таким образом, выбор варианта заготовки и вывозки древесины с лесосеки оказывает существенное влияние на почвенную обеспеченность элементами минерального питания. Во всех случаях величина потерь элементов минерального питания с хозяйственным выносом больше в древостоях с меньшей густотой посадки.

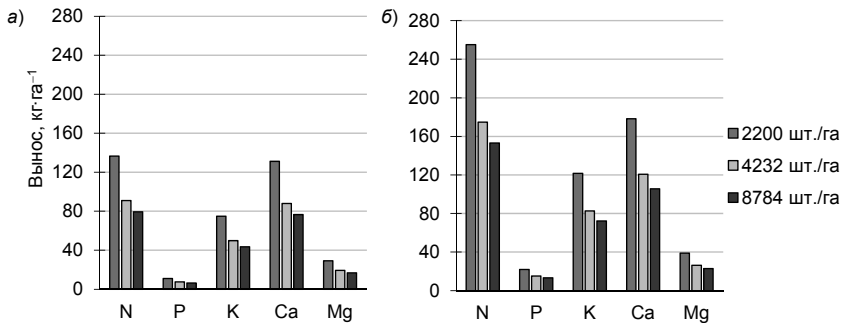


Рис. 2. Вынос элементов минерального питания при оставлении порубочных остатков (а) и при их удалении с лесосеки (б) в культурах сосны разной начальной густоты

Fig. 2. Removal of mineral nutrition elements while leaving (a) chopping residues and when removing them from the cutting area (b) in pine crops of different initial densities

В рамках разработки рекомендуемой системы удобрений были выделены следующие возрастные этапы для их внесения в сосновых древостоях:

- 1 – основное (предпосевное удобрение);
- 2 – удобрение для ускорения роста молодняков;
- 3 – удобрение для обеспечения элементами минерального питания в период быстрого роста;
- 4 – удобрение для ускорения роста и смыкания крон;
- 5 – удобрение для дифференциации деревьев в период быстрого роста;
- 6 – удобрение для ускорения роста по диаметру и в высоту;
- 7 – удобрение для увеличения запаса к возрасту рубки.

При проектировании внесения удобрений текущая обеспеченность почвы элементами минерального питания оценивалась по данным почвенного разреза. Рассматривая результаты химического анализа дерново-подзолистой почвы [Наумов, Поляков, 2009], можно отметить высокое содержание в ней оксида калия (12,20 мг/100 г почвы). Поэтому вносить калийные удобрения нецелесообразно. Почва характеризуется очень низким значением рН солевой вытяжки (KCl) – 3,50, что указывает на необходимость в проведении известкования. Учитывая, что целевая порода (сосна) предпочитает умеренно кислые почвы, в качестве известковых удобрений можно применять известь (CaCO_3) или фосфоритную муку (Ca_3PO_4), также выступающую источником фосфора. Определение доз удобрений, необходимых для умеренного повышения рН почвы, производилось согласно общепринятым в агрохимической практике методам [Агрохимия, 2017].

Для всех приемов внесения элементов питания, приведенных в табл. 2, расчет необходимого количества фосфорных и азотных удобрений производился исходя из содержания в них действующего вещества в соответствии со средними рекомендованными дозами внесения минеральных удобрений в лесные культуры.

Источником фосфора в разработанной системе удобрений выступает аммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) или фосфоритная мука (Ca_3PO_4), в зависимости от принятого варианта внесения. В качестве азотного удобрения, исходя из рекомендаций В.С. Победова и В.Е. Волчкова (1972), принята аммиачная селитра (NH_4NO_3).

Анализируя данные табл. 2, следует отметить, что в первом варианте при использовании в качестве источника фосфора аммофоса, применение системы удобрений обойдется в 84 040 руб./га. Стоимость второго варианта внесения удобрений составит 71 640 руб./га. Таким образом, использование в качестве источника фосфора фосфоритной муки позволит снизить затраты на 12 400 руб. с единицы лесной площади, сохранив эффективность применения удобрений на прежнем уровне.

Таблица 2

Система удобрений культур сосны на дерново-подзолистых почвах
Fertilizer system of pine plantations on sod-podzolic soils

Показатель	Возраст древосто- я, лет	Вариант внесе- ния	Удобрение	Доза, т/га	Цена, руб./т	Стои- мость, руб./га	
1. Основное (предпо- севное удобрение)	0	1	Известь СаСО ₃	3,8	1000	3800	
			Аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄	0,3	31900	9570	
			Итого				
		2	Фосфоритная мука Са ₃ (PO ₄) ₂	0,8	6200	4960	
Итого					4960		
2. Удобрение для уско- рения роста молод- няков	2–3	–	Аммиачная се- литра (NH ₄ NO ₃)	0,3	18800	5640	
3. Удобрение для обес- печения элементами минерального пи- тания в период быстрого роста	8–9	–	Аммиачная се- литра (NH ₄ NO ₃)	0,4	18800	7520	
4. Удобрение для уско- рения роста и смы- кания крон	13–15	–	Аммиачная се- литра (NH ₄ NO ₃)	0,45	18800	8460	
5. Удобрение для диф- ференциации дере- вьев в период быст- рого роста	20–40	1	Аммиачная се- литра (NH ₄ NO ₃)	0,5	18800	9400	
			Аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄	0,3	31900	9570	
			Итого				
		2	Аммиачная се- литра (NH ₄ NO ₃)	0,5	18800	9400	
			Фосфоритная мука Са ₃ (PO ₄) ₂	0,9	6200	5580	
Итого					14980		
6. Удобрение для уско- рения роста по диаметру и в высоту	45–50	–	Аммиачная се- литра (NH ₄ NO ₃)	0,8	18800	15040	
7. Удобрение для увеличения запаса к возрасту рубки	55-60	–	Аммиачная се- литра (NH ₄ NO ₃)	0,8	18800	15040	
Итого по первому варианту внесения удобрений						84040	
Итого по второму варианту внесения удобрений						71640	

Выводы. Независимо от варианта начальной густоты формируются два максимума кривой выноса элементов питания. До возраста первого максимума проявляется влияние начальной густоты: чем она выше, тем больше вынос. К достижению второго максимума проявляются индивидуальные особенности развития древостоев, и влияние оказывает уже не начальная густота, а текущая.

Наибольшие потери с хозяйственным выносом по азоту, фосфору, калию, кальцию и магнию будут наблюдаться при проведении рубок в более редких насаждениях. При вывозке с лесосеки не только стволовой древесины, но и порубочных остатков, потери элементов минерального питания возрастают в несколько раз. Разработана система удобрений сосновых древостоев, выращиваемых на дерново-подзолистых почвах, рассчитанная для внесения на протяжении всего периода выращивания леса. Система удобрений предусматривает периодическое внесение необходимых доз элементов минерального питания, которое направлено на создание оптимальных почвенных условий для лучшего роста и развития древостоя на каждом возрастном этапе. Ожидаемым эффектом от применения полученной системы удобрений является повышение древесной продуктивности и сокращение оборота рубки.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, тема проекта «Изучение роста и продуктивности лесообразующих пород Лесной опытной дачи Тимирязевской академии по данным постоянных наблюдений с 1862 года», номер проекта 1.2.9.

Библиографический список

Агрохимия / В.Г. Минеев, В.Г. Сычёв, Г.П. Гамзиков и др.; под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.

Географические культуры сосны в Лесной опытной даче Тимирязевской академии (к 180-летию М.К. Турского) / В.Д. Наумов, Н.Л. Поветкина, А.В. Лебедев, А.В. Гемонов. М.: МЭСХ, 2019. 182 с.

Дубенок Н.Н., Кузьмичёв В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии; РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. М.: Наука, 2020. 382 с.

Кондратьев М.Н., Ларинова Ю.С. Физиология минерального питания древесных растений. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. 160 с.

Кузьмичёв В.В., Пиеничникова Л.С. Рост культур сосны разной густоты в южной тайге Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2014. № 3-4. С. 83–88.

Мелхов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 406 с.

Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Первалова Е.А. Динамика роста сосны в культурах разной густоты // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 2 (155). С. 34–41.

Наумов В.Д., Поляков А.Н. 145 лет Лесной опытной даче РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. М., 2009. 512 с.

Победов В.С., Волчков В.Е. Диагностика режима минерального питания и применения удобрений в сосновых лесах БССР // Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. Петрозаводск, 1972. С. 34–47.

Разин Г.С. Изучение и моделирование хода роста древостоев с различной первичной густотой (на примере ельников Пермской области): метод. рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. 43 с.

Разин Г.С., Rogozin М.В. О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев // Лесное хозяйство. 2010^а. № 2. С. 19.

Разин Г.С., Rogozin М.В. О ходе роста древостоев. Догматизм в лесной таксации // Лесная таксация и лесоустройство. 2010^б. № 1 (43). С. 41–70.

Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Акад. наук СССР. Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. М.; Л.: Наука [Ленингр. отд-ние], 1965. 253 с.

Хлюстов В.К., Лебедев А.В., Ефимов О.Е. Экобиоэнергетический потенциал сосняков Костромской области. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 292 с.

Attwill P.M. Energy, nutrient flow, and biomass // In Australian Forest Nutrition Workshop, Productivity in Perpetuity (10–14 August 1981 year, Canberra, Australia), 1981. P. 131–144.

Binkley D. Forest Nutrition Management. John Wiley & Sons, 1986. 290 p.

Bowen G.D., Nambiar E.K.S. Nutrition of Plantation Forests. London: Academic Press, 1984. 516 p.

Ericsson T. Nutrient dynamics and requirements of forest crops // New Zealand Journal of Forestry Science. 1994. No. 24(2/3). P. 133–68.

Fox T.R., Lee Allen H., Albaugh T.J., Rubilar R., Carlson C.A. Tree Nutrition and Forest Fertilization of Pine Plantations in the Southern United States // South. J. Appl. For. 2007. No. 31(1). P. 5–11.

Jacobsen C., Rademacher P., Meesenburg H., Meiwes K.J. Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Literaturstudie und Datensammlung. Ber Forschungszentrum Waldokosysteme, Univ Gottingen, Reihe B. 2003. No. 69. 81 p.

Pretzsch H. Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer, 2009. 664 p.

References

Agrochemistry / V.G. Mineev, V.G. Sychev, G.P. Gamzikov et al.; edited by V.G. Mineev. Moscow: Publishing house of the VNIIA named after D.N. Pryanishnikov, 2017. 854 p.

Geographical pine plantations in the Forest experimental district of the Timiryazev Academy (to the 180th anniversary of M.K. Tursky) / V.D. Naumov, N.L. Povetkina, A.V. Lebedev, A.V. Gemonov. Moscow: MESKH, 2019. 182 p.

Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Results of experimental work for 150 years in the Forest experimental dacha of the Timiryazev agricultural Academy; RSAU-MTAA. M.: Nauka, 2020. 382 p.

Kondratev M.N., Larikova Yu.S. Physiology of mineral nutrition of woody plants. Moscow: RSAU-MTAA, 2017. 160 p.

Kuzmichev V.V., Pshenichnikova L.S. Growth of pine plantations of different varieties in the southern taiga of the Krasnoyarsk territory. *Coniferous boreal zones*, 2014, no. 3-4, pp. 83–88.

Melekhov I.S. Forest Science. Moscow: Lesn. prom-st, 1980. 406 p.

Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B., Perevalova E.A. Dynamics of pine growth in plantations of different density. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2016, no. 2 (155), pp. 34–41.

Naumov V.D., Polyakov A.N. 145 years of Forest experimental district of the Russian state agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. M., 2009. 512 p.

Pobedov V.S., Volchkov V.E. Diagnostics of the regime of mineral nutrition and application of fertilizers in the pine forests of the Byelorussian SSR. *Nutrition of woody plants and the problem of increasing forest productivity*. Pet-rozavodsk, 1972, pp. 34–47.

Razin G.S. Study and modeling of the growth of stands with different primary density (on the example of spruce forests of the Perm region): Methodological recommendations. L.: LENNILKH, 1977. 43 p.

Razin G.S., Rogozin M.V. On the laws and regularities of growth and development, life and death of stands. *Forestry*, 2010^a, no. 2, pp. 19.

Razin G.S., Rogozin M.V. On the growth of stands. Dogmatism in forest inventory. *Forest inventory and forest device*, 2010^b, no. 1 (43), pp. 41–70.

Rodin L.E., Bazilevich N.I. Dynamics of organic matter and biological cycle of ash elements and nitrogen in the main types of vegetation of the globe; Akad. nauk SSSR. Nerd. V.L. Komarov research Institute. Moscow; Leningrad: Nauka [Leningr. otd-nie], 1965. 253 p.

Khlyustov V.K., Lebedev A.V., Efimov O.E. Ecobioenergetic potential of pine stands in the Kostroma region. Moscow: RSAU-MTAA, 2016. 292 p.

Attiwill P.M. Energy, nutrient flow, and biomass. *Australian Forest Nutrition Workshop, Productivity in Perpetuity* (10–14 August 1981 year, Canberra, Australia), 1981, pp. 131–144.

Binkley D. Forest Nutrition Management. John Wiley & Sons, 1986. 290 p.

Bowen G.D., Nambiar E.K.S. Nutrition of Plantation Forests. London: Academic Press, 1984. 516 p.

Ericsson T. Nutrient dynamics and requirements of forest crops. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1994, no. 24(2/3), pp. 133–68.

Fox T.R., Lee Allen H., Albaugh T.J., Rubilar R., Carlson C.A. Tree Nutrition and Forest Fertilization of Pine Plantations in the Southern United States. *South. J. Appl. For.*, 2007, no. 31(1), pp. 5–11.

Jacobsen C., Rademacher P., Meesenburg H., Meiwes K.J. Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Literaturstudie und Datensammlung. Ber Forschungszentrum Waldokosysteme, Univ Göttingen, Reihe B. 2003, no. 69, 81 p.

Pretzsch H. Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer, 2009. 664 p.

Материал поступил в редакцию 17.07.2020

Лебедев А.В., Гостев В.В. Вынос элементов питания из почвы культурами сосны разной начальной густоты и разработка рекомендаций по внесению удобрений // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 6–19. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.6-19

Сокращение оборота рубки, переход к комплексному использованию древесины и порубочных остатков приводят к увеличению хозяйственного выноса почвенных элементов питания растений и могут представлять угрозу для продуктивности лесных участков в долгосрочной перспективе. Для повышения и оптимизации почвенного плодородия, увеличения продуктивности древостоев, повышения качества продукции, получаемой из древесины, в лесном хозяйстве применяются системы удобрений. Целью исследования являлось выявление динамики накопления элементов минерального питания в лесных культурах сосны различной начальной густоты посадки и разработка рекомендаций по повышению продуктивности древостоев посредством применения системы удобрений на основании данных хозяйственного выноса. Для вычисления фитомассы произведен расчет величины фитомассы древостоев с применением уравнений зависимости от среднего диаметра и средней высоты с поправкой на число деревьев. Показатели чистой первичной продукции древостоев сосны обыкновенной рассчитывались через уравнения зависимости от возраста и наличной фитомассы. С применением конверсионных коэффициентов определено содержание элементов минерального питания в различных фракциях сосновых древостоев. Особое внимание уделено поиску соотношения между потреблением питательных элементов древостоями различной густоты. Расчет потерь элементов минерального питания с заготавливаемой древесиной при различных сценариях лесосечных работ позволил установить, что при комплексном использовании порубочных остатков хозяйственный вынос элементов питания будет наибольшим. Запроектированная система удобрений позволит компенсировать потери элементов минерального питания с заготавливаемой древесиной, увеличит почвенную обеспеченность химическими элементами и положительно скажется на повышении древесной продуктивности удобряемых лесных культур.

Ключевые слова: сосновые древостои, минеральное питание, хозяйственный вынос, система удобрений.

Lebedev A.V., Gostev V.V. Removal of nutrients from the soil by pine plantations of different initial density and development of recommendations for fertilizer application. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2020, is. 232, pp. 6–19 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.6-19

A reduction in the turnover of logging and the transition to integrated use of wood and felling residues lead to an increase in the economic removal of soil elements of plant nutrition and may pose a threat to the productivity of forest areas in the long term. To improve and optimize soil fertility, increase the productivity of stands, and improve the quality of products obtained from wood, forestry uses fertilizer systems. The purpose of the study was to identify the dynamics of accumulation of mineral nutrition elements in pine forest crops of different initial planting density and develop recommendations for increasing the productivity of stands by applying a system of fertilizers based on the data of economic removal. To calculate the phytomass, the value of the phytomass of stands was calculated using the equations of dependence on the average diameter and average height, adjusted for the number of trees. Indicators of net primary production of stands of common pine were calculated using equations depending on age and available phytomass. Using conversion coefficients, the content of mineral nutrition elements in various fractions of pine stands was determined. Special attention is paid to the search for a correlation between the consumption of nutrient elements by stands of different densities. The calculation of losses of elements of mineral nutrition with harvested wood under various scenarios of logging operations allowed us to establish that with the combined use of felling residues, the economic removal of elements of nutrition will be the greatest. The system of fertilizers will compensate for the loss of mineral nutrition elements with harvested wood, increase the soil supply with chemical elements and have a positive impact on increasing the wood productivity of fertilized forest plantations.

Keywords: pine stands, mineral nutrition, agricultural removal, fertilizer system.

ЛЕБЕДЕВ Александр Вячеславович – старший преподаватель кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 5789-5540. ORCID: 0000-0002-8939-942X.

127550, Тимирязевская ул., д. 49, г. Москва, Россия. E-mail: av11993@mail.ru

LEBEDEV Aleksandr V. – PhD (Agriculture), lecturer of the department of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Management at Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. SPIN-code: 5789-5540. ORCID: 0000-0002-8939-942X.

127550. Timiryazevskaya str. 49. Moscow. Russia. E-mail: avl1993@mail.ru

ГОСТЕВ Владимир Викторович – магистрант кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

127550, Тимирязевская ул., д. 49, г. Москва, Россия. E-mail: v.v.gostev@mail.ru

GOSTEV Vladimir V. – master student of the department of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Management at Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

127550. Timiryazevskaya str. 49. Moscow. Russia. E-mail: v.v.gostev@mail.ru