

УДК 631.8:630*232.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ 30-ЛЕТНЕГО ЕЖЕГОДНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ КУЛЬТУР СОСНЫ ПО ДИАМЕТРУ И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ. СООБЩЕНИЕ II*

А.И. Соколов, д-р с.-х. наук, доц.

А.Н. Пеккоев, канд. с.-х. наук, науч. сотр.

В.А. Харитонов, вед. инж.

Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11,
г. Петрозаводск, Россия, 185910; e-mail: alexander.sokolov@krc.karelia.ru,
pek-aleksei@list.ru, haritonov@krc.karelia.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с восстановлением лесных фитоценозов, нарушенных в результате вырубki древостоя и последующего пожара. Объектом исследования служили 53-летние культуры сосны, созданные посевом на вересково-паловой вырубке с песчаными почвами. Цель работы – исследование динамики влияния многолетнего внесения фосфорсодержащих удобрений и его последствий на формирование годичного кольца и качество древесины средневозрастных культур сосны. Схема опыта: контроль (без внесения удобрений); Р (суперфосфат); РК (суперфосфат + хлористый калий); NP (мочевина + суперфосфат). Удобрения вносили ежегодно, начиная с 7-летнего возраста культур (1967 г.) на протяжении 30 лет (до 1996 г.). С 1967 г. по 1972 г. мочевину и хлористый калий вносили в дозе 60 кг/га, суперфосфат – в дозе 120 кг/га, с 1973 г. – каждый вид удобрений в дозе 120 кг/га по действующему веществу. Отмечено, что состав удобрений не только оказывал влияние на рост культур в период их внесения, но и определял продолжительность последствий. Установлено, что наибольший прирост по площади сечения стволов отмечен во время подкормок азотно-фосфорными удобрениями. Фосфорные и фосфорно-калийные удобрения были более эффективны в период их последствий. К концу периода наблюдений объем среднего дерева при внесении Р, РК и NP превосходил контроль в 1,6, 2,0 и 2,5 раза соответственно. Применение фосфорсодержащих удобрений повысило долю поздней древесины в годичном слое на 13...25 % по сравнению с контролем. Максимальной величины (30 %) данный показатель достиг при внесении одного суперфосфата. Плотность древесины в зависимости от вида внесенного удобрения колебалась от 406 до 446 кг/м³. При подкормках сосны азотно-фосфорными и фосфорно-калийными удобрениями отмечена тенденция снижения базисной плотности, особенно при включении в состав удобрений азота.

Ключевые слова: культуры сосны, минеральные удобрения, паловые вырубки, поздняя древесина, радиальный прирост.

*Сообщение I опубликовано в «Лесном журнале» № 6 за 2016 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН 0220-2014-0011.

Для цитирования: Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Последствие 30-летнего ежегодного применения фосфорных удобрений на рост культур сосны по диаметру и качество древесины. Сообщение II // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 49–60. (Изн. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

Введение

Фосфор играет важную роль в жизни растений. Он является структурным компонентом нуклеиновых кислот, входит в состав фосфолипидов, ферментов, витаминов, а также участвует в образовании и превращении углеводов и азотистых веществ. С химическими реакциями фосфора связан энергетический обмен живой клетки, процессы дыхания и брожения. Он принимает непосредственное участие в фотосинтезе, ускоряет развитие растений, повышает их зимостойкость, положительно влияет на рост корней [2, 8].

Имеются сведения, что песчаные почвы сосновых лесов таежной зоны, особенно поверхностно-подзолистые, бедны доступными растениям формами фосфорных соединений [7, 12, 17]. В то же время внесение только одних фосфорных удобрений в минеральные почвы в лесу нередко оказывается малоэффективным [5, 6] и в основном рекомендуется на торфяных почвах. Так, по данным В.И. Шубина с соавторами [21], длительное ежегодное внесение суперфосфата не улучшило роста 27-летних культур сосны по диаметру, несмотря на существенное накопление фосфора в почве. Вызвано это тем, что фосфорные удобрения, в отличие от азотных и калийных, связываются железом и алюминием в труднодоступные для растений формы. В результате общее содержание фосфора в почве не всегда свидетельствует об обеспеченности им растений [1, 3, 22]. Вероятно, поэтому имеющиеся в литературе сведения о лесоводственной эффективности фосфорных удобрений при лесовыращивании неоднозначны, а исследования влияния их многолетнего ежегодного применения на фитоценозы и последствия проведенных мероприятий в России в основном велись на сельскохозяйственных растениях [11]. В зарубежной литературе указывается [23, 25, 26], что последствие внесенных фосфорных удобрений на сосну может прослеживаться до 20...50 лет. Следует отметить, что биологический круговорот в хвойном лесу и на сельхозполях имеет существенные различия, что связано с биологическими особенностями растений, спецификой растительного опада, строением почвы, способами и кратностью ее обработки, составом и активностью почвенных организмов.

В большинстве работ по применению удобрений в лесу приводятся результаты одно- и двукратных подкормок, главным образом азотосодержащими удобрениями, на макроструктуру древесины. Это не позволяет в полной мере оценить роль отдельных элементов питания и механизмы их действия, поскольку эффективность подкормок зависит от вида и дозы удобрений, сроков внесения, возраста деревьев, почвенных условий, а также от температуры и осадков, не постоянных в течение вегетационных периодов [4, 13, 16], которые в значительной мере определяют интенсивность обменных процессов в растениях и структуру годичного кольца. Многолетние эксперименты с ежегодным внесением удобрений на постоянных пробных площадях дают возможность получить дополнительную информацию о влиянии отдельных элементов, в частности фосфора, на рост сосны в толщину и макроструктуру древесины, от которых во многом зависит запас древостоев и качество древесины.

Цель работы – изучить последствие 30-летнего ежегодного применения минеральных удобрений на формирование годичного кольца и качество древесины средневозрастных культур сосны, созданных на вересково-паловой вырубке с песчаными почвами.

Объекты и методика исследования

Объектом исследования являлись опытно-производственные культуры сосны, созданные посевом в 1961 г. с исходной плотностью 7,0 тыс. шт./га. В процессе их выращивания, начиная с 7-летнего возраста, на протяжении 30 лет ежегодно вносили разные виды минеральных удобрений. В качестве подкормок использовали мочевины (N), суперфосфат гранулированный (P) и хлористый калий (K). Схема опыта: контроль (без удобрений), P, PK, NP. С 1967 по 1972 г. N и K вносили из расчета 60, P – 120 кг/га по действующему веществу, а с 1973 по 1996 г. каждый вид удобрений применяли из расчета 120 кг/га. Удобрения вносили вручную ранней весной по всей площади делянки [21].

Обследование культур выполняли в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами. На каждой пробной площади проводили сплошной пересчет деревьев, методом пропорционального представительства отбирали по 20...24 учетных дерева, у которых буравом Пресслера на высоте груди брали керны для анализа динамики радиального прироста. Получить статистически достоверные данные для анализа ширины годичных слоев по кернам, отобраным на высоте 1,3 м, представилось возможным только с 15-летнего возраста культур, что обусловлено медленным ростом сосны в первые годы из-за воздействия ряда неблагоприятных факторов (недостаток питания и влаги, снежное шютте и др.) [20]. При обработке полученного материала использовали пакет статистического анализа StatGraphicsplusv.2.1.

Результаты исследования и их обсуждение

Обследование 53-летних культур сосны показало, что при использовании фосфорсодержащих удобрений средний диаметр деревьев увеличился на 15...43 %, высота – на 21...40 %, объем среднего дерева – в 1,6–2,5 раза, продуктивность древостоев повысилась на 0,8–1,6 класса бонитета (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика 53-летних культур сосны в опыте с ежегодным внесением фосфорных удобрений

| Вариант опыта | Густота стояния, тыс. шт./га | Средние | | | Полнота | Запас древостоя, м ³ /га | Объем среднего дерева, м ³ | Класс бонитета |
|---------------|------------------------------|-------------|------|-----------|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| | | диаметр | | высота, м | | | | |
| | | см | t | | | | | |
| Контроль | 1,52 | 10,8 ± 0,37 | – | 10,9 | 0,6 | 92 | 0,061 | IV,2 |
| P | 1,38 | 12,4 ± 0,59 | 2,30 | 13,2 | 0,8 | 135 | 0,098 | III,4 |
| PK | 1,17 | 14,2 ± 0,71 | 4,25 | 14,0 | 0,8 | 148 | 0,126 | III,0 |
| NP | 2,12 | 15,4 ± 0,37 | 8,79 | 15,3 | 1,4 | 321 | 0,151 | II,6 |

Примечание: $t_{табл} = 1,96$.

Дополнительный прирост по запасу в зависимости от вида удобрений и густоты древостоя составил от 43 до 229 м³/га. Наиболее эффективными оказались азотно-фосфорные удобрения, что в первую очередь связано с дефицитом азота в лесных почвах и, как следствие, большой отзывчивостью на него древесных растений [4, 9, 18]. Кроме того, азот с фосфором повлияли положительно на развитие корневых систем и рост деревьев. По результатам исследований Н.Ф. Чумак [19], при ежегодном внесении на данном участке мочевины, особенно совместно с фосфором, насыщенность почвы сосущими и проводящими корнями сосны, обеспечивающими поглощение и передвижение питательных веществ, резко возрастала как в лесной подстилке, так и по всему 20-сантиметровому горизонту почвы. Высокую эффективность применения азотно-фосфорных удобрений в культурах сосны лучистой отмечали и другие исследователи [24, 25].

Изменение режима питания в результате внесения удобрений повлияло на ход роста сосны по диаметру. При подкормках азотно-фосфорными удобрениями к 15-летнему возрасту культуры сосны в 2 раза превосходили контроль по этому показателю (рис. 1). На остальных делянках улучшение роста сосны под воздействием удобрений стало стабильно отмечаться с 20 лет.

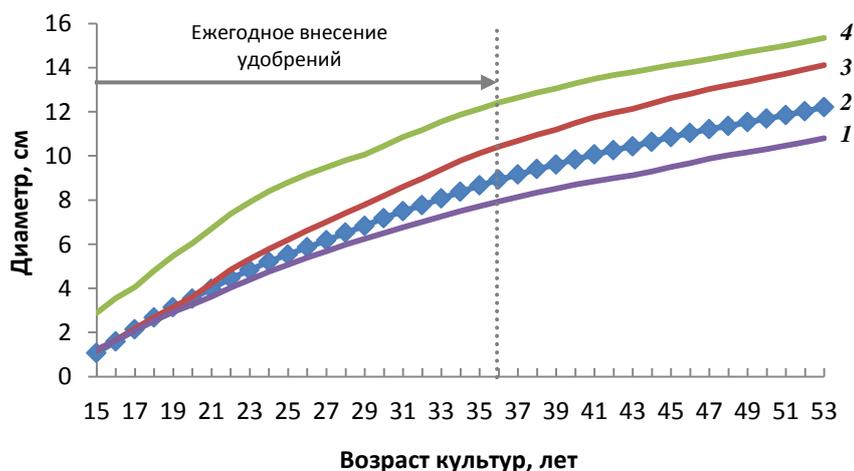


Рис. 1. Ход роста 53-летних культур сосны по диаметру при ежегодном 30-летнем применении фосфорных удобрений: 1 – контроль; 2 – P; 3 – PK; 4 – NP

К 36-летнему возрасту различия с контролем по среднему диаметру при применении суперфосфата составили 10 %, суперфосфата с хлористым калием – 30 %, суперфосфата с мочевиной – 57 %. После окончания подкормок данное соотношение сохранялось до конца периода наблюдений, за исключением последнего варианта, где по истечении 41 года рост сосны несколько замедлился.

С возрастом происходило закономерное снижение прироста сосны по диаметру и, как следствие, по площади сечения (рис. 2).

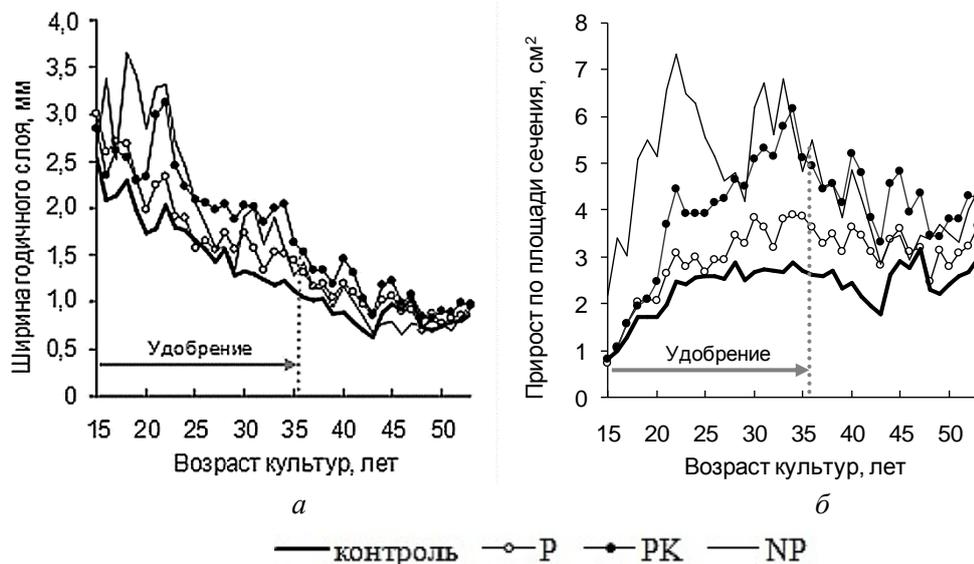


Рис. 2. Динамика прироста сосны по радиусу (а) и площади сечения (б) ствола при ежегодном внесении фосфорных удобрений

Флуктуации приростов вызваны нестабильными погодными условиями по годам наблюдений. Заметное их снижение отмечалось в засушливые периоды, особенно при применении азотсодержащего удобрения. Это связано с дефицитом влаги в почве, отмиранием части активной корневой системы, подавлением микоризообразования, уменьшением массы хвои и увеличением газообразных потерь азота [7, 8, 13, 14].

Азотсодержащие удобрения были наиболее эффективны в период подкормок, после их прекращения среднепериодический прирост по площади сечения достоверно снизился на 28 %, но все же был выше контроля. Это, видимо, вызвано нехваткой подвижного азота после прекращения подкормок, что привело к возникновению диспропорции между реальным наличием его в почве и потребностью в нем древостоя [10, 15]. При использовании фосфорно-калийных и фосфорных удобрений отмечалась тенденция их положительного последействия, однако различия по указанному показателю между рассматриваемыми периодами несущественны (табл. 2).

В промежутке 15...36 лет (до прекращения подкормок) внесение суперфосфата способствовало увеличению площади поперечного сечения на 24 %, суперфосфата совместно с хлористым калием – на 69 %, совместно с мочевиной – на 240 % по сравнению с контролем. В последующий период этот показатель соответственно составил 128, 167 и 150 %.

Таблица 2

Влияние фосфорных удобрений на средний периодический прирост площади поперечного сечения сосны

| Вариант опыта | За весь период наблюдений | | В том числе | | | |
|---------------|----------------------------|------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| | см ² / % | t | при внесении удобрений | | последствие | |
| | | | см ² / % | t | см ² / % | t |
| Контроль | $\frac{2,4 \pm 0,08}{100}$ | – | $\frac{2,3 \pm 0,13}{100}$ | – | $\frac{2,5 \pm 0,09}{100}$ | – |
| P | $\frac{3,0 \pm 0,12}{125}$ | 4,16 | $\frac{2,8 \pm 0,19}{122}$ | 2,18 | $\frac{3,2 \pm 0,08}{128}$ | 5,81 |
| PK | $\frac{4,0 \pm 0,19}{167}$ | 7,76 | $\frac{3,9 \pm 0,33}{170}$ | 4,51 | $\frac{4,2 \pm 0,13}{168}$ | 10,75 |
| NP | $\frac{4,6 \pm 0,21}{192}$ | 9,79 | $\frac{5,3 \pm 0,27}{230}$ | 10,00 | $\frac{3,8 \pm 0,14}{152}$ | 7,81 |

Примечание: $t_{\text{табл}} = 1,99$.

В целом за все время наблюдений фосфор обеспечил увеличение площади поперечного сечения сосны на высоте 1,3 м в 1,2; фосфор с калием – в 1,7; фосфор с азотом – в 2,0 раза (рис. 3).

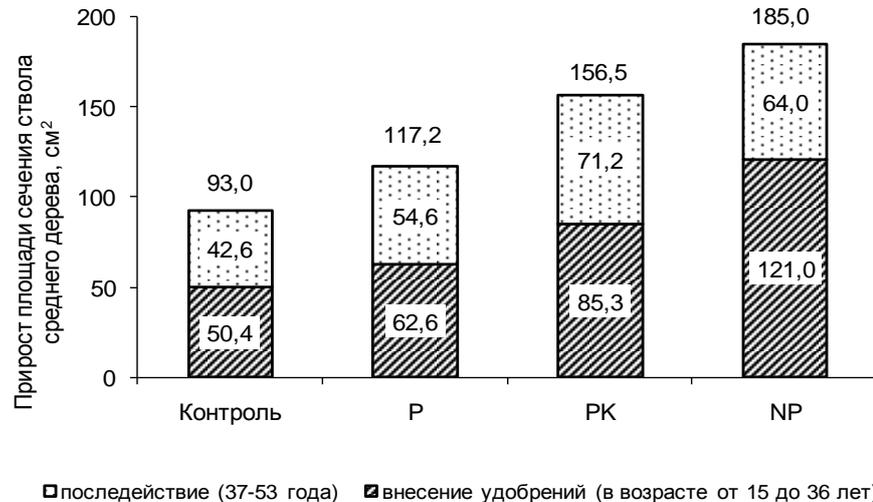


Рис. 3. Изменение площади поперечного сечения сосны в результате применения фосфорсодержащих удобрений

Под воздействием удобрений произошли изменения качественных показателей древесины. Вследствие повышения радиального прироста снизилось количество годичных слоев в 1 см. Влияние одного фосфора на ширину годичного слоя оказалось несущественным, однако процент поздней древесины и базисная плотность здесь имели максимальные значения (табл. 3).

Таблица 3

Влияние фосфорных удобрений на показатели качества древесины сосны

| Вариант опыта | Количество слоев в 1 см древесины | Ширина годовичного слоя | | Количество поздней древесины в годовичном слое | | Базисная плотность древесины | |
|---------------|-----------------------------------|-------------------------|------|--|------|------------------------------|------|
| | | мм | t | % | t | кг/м ³ | t |
| Контроль | 7,7 | 1,3 ± 0,08 | – | 24 ± 0,8 | – | 430 ± 9 | – |
| P | 6,7 | 1,5 ± 0,10 | 1,66 | 30 ± 0,9 | 4,24 | 446 ± 9 | 1,19 |
| PK | 5,9 | 1,7 ± 0,11 | 3,26 | 27 ± 0,9 | 2,26 | 418 ± 8 | 0,98 |
| NP | 5,9 | 1,7 ± 0,15 | 2,21 | 28 ± 1,1 | 2,61 | 406 ± 9 | 1,84 |

Примечание: $t_{\text{табл}} = 1,99$.

Фосфорно-калийные и азотно-фосфорные удобрения также способствовали повышению доли поздней древесины на 13...25 %, но при этом отмечена тенденция снижения базисной плотности, особенно при включении азота в состав удобрений.

Заключение

Ежегодное, на протяжении первых 13 лет, внесение фосфорных и фосфорно-калийных удобрений в посевы сосны, созданные на вересково-паловой вырубке с песчаными почвами, не оказало влияния на рост деревьев по диаметру, следовательно, в этот период растения не испытывали недостатка фосфора. На протяжении первого класса возраста сосна реагировала только на удобрения, содержащие азот (мочевина + суперфосфат). При этом произошло повышение диаметра в 2 раза по сравнению с контролем. Положительное воздействие фосфорных и фосфорно-калийных удобрений стало проявляться с 20-летнего возраста, и к возрасту 53 года они способствовали увеличению площади поперечного сечения сосны соответственно в 1,2 и 1,7 раза. Влияние удобрений на среднепериодический прирост в период подкормок и после их прекращения отличалось от азотсодержащих удобрений. Фосфорные и фосфорно-калийные удобрения более эффективны в период последствия, а азотно-фосфорные – во время подкормок. После прекращения ежегодного внесения азотно-фосфорного удобрения наблюдалось снижение темпов прироста сосны по площади поперечного сечения, которое, видимо, связано с тем, что лишенный дополнительной подпитки азотом древостой был вынужден адаптироваться к изменившимся условиям питания. Однако в целом до конца наблюдений прослеживается положительное последствие всех видов фосфорсодержащих удобрений на рост сосны в толщину.

Под воздействием удобрений отмечены изменения качественных показателей древесины. Все фосфорсодержащие удобрения способствовали повышению доли поздней древесины в годовичном слое. Максимальных значений количество поздней древесины и базисная плотность достигли при внесении

одного суперфосфата. При подкормках сосны азотно-фосфорными и фосфорно-калийными удобрениями отмечена тенденция снижения базисной плотности, особенно при наличии азота в составе удобрений.

В результате 30-летнего ежегодного внесения фосфорных удобрений объем среднего дерева увеличился в 1,6 раза, запас древостоя – на 47 %. Включение в состав удобрений азота, дефицитного для сосняков брусничных таежной зоны, привело к максимальному накоплению запаса и повышению продуктивности древостоя на I,6 класса бонитета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдонин Н.С.* Научные основы применения удобрений. М.: Колос, 1972. 320 с.
2. *Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р.* Жизнь зеленого растения: пер. с англ. М.: Мир, 1983. 552 с.
3. *Звирбуль А.П.* Принципы охраны лесных почв при их удобрении и известковании // Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1981. С. 60–65.
4. *Казимиров Н.И., Горбунова Т.М.* Лесоводственная эффективность применения азотных удобрений // Структура и производительность сосновых лесов на Европейском Севере. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1981. С. 60–70.
5. *Казимиров Н.И., Куликова В.К., Новицкая Ю.Е.* Применение минеральных удобрений в еловых лесах Карелии // Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1972. С. 74–92.
6. *Коновалов В.Н.* Физиологическая оценка воздействия минеральных удобрений на древесные растения Крайнего Севера // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: материалы междунар. симп. Архангельск; М.: Госкомитет по лесу СССР, 1990. Ч. 2. С. 107–112.
7. *Куликова В.К.* Изменение агрохимических свойств почв при внесении минеральных удобрений // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 24–41.
8. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
9. *Листов А.А.* Боры-беломошники. М.: Агропромиздат, 1986. 181 с.
10. *Мельников Е.С., Сеннов С.Н., Грязькин А.В., Мартынов А.Н., Смирнов А.П.* Закономерности восстановительных процессов в лесных экосистемах на объектах хозяйственного воздействия // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. Вып. 169. 2003. С. 191–205.
11. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф.* Значение фосфора в улучшении свойств дерново-подзолистой почвы при действии и последствии длительного применения минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 2. С. 3–9.

12. Морозова Р.Н., Богданова Г.И. Групповой состав фосфатов почв сосновых лесов // Структура и производительность сосновых лесов на Европейском Севере. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1981. С. 29–48.

13. Победов В.С., Волчков В.Е. Диагностика режима минерального питания и применение удобрений в сосновых лесах БССР // Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1972. С. 34–47.

14. Сляднев А.П. Эффективность применения минеральных удобрений при выращивании сосновых насаждений зоны смешанных лесов // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве. Минск: БелНИИЛХ, 1974. 80 с.

15. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А., Кривенко Т.И. Ускоренное выращивание культур ели в среднетаежной подзоне Карелии // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 96–105. (Изв. высш. учеб. заведений).

16. Степаненко И.И. Критерии и индикаторы роста, продуктивности лесных насаждений при их интенсивном выращивании // Лесн. журн. 2015. № 4. С. 18–29. (Изв. высш. учеб. заведений).

17. Федорец Н.Г. Почвенные условия вырубок Карелии последнего десятилетия // Вопр. лесовосстановления и лесозащиты в Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1983. С. 4–13.

18. Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: АГТУ, 2002. 380 с.

19. Чумак Н.Ф. Микоризы сосны на песчаных почвах в связи с применением удобрений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1981. 25 с.

20. Шубин В.И. Влияние удобрений на рост культур сосны на песчаных почвах // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 78–87.

21. Шубин В.И., Гелес И.С., Крутов В.И., Морозова Р.М., Соколов А.И. Повышение производительности культур сосны и ели на вырубках. Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР, 1991. 176 с.

22. Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А., Полянский Е.В., Бельков В.П., Гладков Е.Г., Головчанский И.Н., Рябинин Б.Н., Морозов В.А., Шиманский П.С. Лесные плантации (Ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.

23. Comerford N.B., de Barros N.F. Phosphorus Nutrition of Forest Trees // Phosphorus: Agriculture and the Environment. Agronomy Monograph. Am. Soc. Agron. Ed. by T.J. Sims, A.N. Sharpley. USA, Madison, WI, 2005. No. 46. Pp. 541–558.

24. Snowdon P., Waring H.D. Growth Responses by *Pinus radiata* to Combinations of Superphosphate, Urea and Thinning Type // Forest Ecology and Management. 1990. Vol. 30, iss. 1–4. Pp. 313–325.

25. Turner J., Lambert M.J. Long-Term Growth Responses to Phosphatic Fertilisers in a *Pinus radiata* Plantation // Australian Forestry. 2015. Vol. 78(4). Pp. 207–218.

26. Turner J., Lambert M.J., Humphreys F. Continuing Growth Response to Phosphate Fertilizers by a *Pinus radiata* Plantation Over Fifty Years // Forest Science. 2002. Vol. 48. Pp. 556–568.

Поступила 14.11.16

UDC 631.8:630*232.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

The Aftereffect of 30-Year-Long Annual Phosphorous Fertilizers Application on the Pine Diameter Growth and Timber Quality. Report II

A.I. Sokolov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

A.N. Pekkoev, Candidate of Agricultural Sciences, Research Officer

V.A. Kharitonov, Chief Engineer

Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation;

e-mail: alexander.sokolov@krc.karelia.ru, pek-aleksei@list.ru, haritonov@krc.karelia.ru

The issues related to the restoration of forest communities destroyed by timber harvesting followed by burning are considered. The study object was 53-year-old pine crops seeded in a burnt felling of the heather type with sandy soils. The work objective was to investigate the aftereffect of long-term annual application of phosphate fertilizers on the annual ring formation and timber quality in middle-aged pine crops. The experimental design was as follows: control (no fertilization), P, PK, NP. Fertilizers were applied annually from the time the crops were 7 years old (1967) for 30 years (until 1996). From 1967 to 1972 urea and potassium chloride were applied in the dose of 60 kg/ha, superphosphate – in the dose of 120 kg/ha; and from 1973 to 1996 each of the fertilizers was applied in the 120 kg/ha dose. The composition of the fertilizers predetermined the growth of crops during treatments and influenced the duration and degree of their aftereffect. The greatest bole area increment was observed during application of NP fertilizers. P and PK fertilizers were more effective during their aftereffect. An average tree volume by the end of the observation period was 1.6; 2.0 and 2.5-fold greater than the control when fertilization of P, PK and NP, respectively. The use of phosphate fertilizers increased the proportion of latewood in the annual layer by 13...25% in comparison with the control. The maximum value (30 %) this parameter reached at the application of superphosphate only. Wood density ranged from 406 to 446 kg/m³ depending on the type of the applied fertilizer. Treatments with NP and PK fertilizers tended to reduce the basic density of pine wood, especially the nitrogen-containing fertilizers.

Keywords: pine crop, mineral fertilizer, slash and burn felling, latewood, radial increment.

REFERENCES

1. Avdonin N.S. *Nauchnye osnovy primeneniya udobreniy* [The Scientific Basis for the Use of Fertilizers]. Moscow, 1972. 320 p.
2. Galston A.W., Davies P.J., Satter R.L. *The Life of the Green Plant*. USA, NJ, 1980. 550 p.
3. Zvirbul' A.P. Printsipy okhrany lesnykh pochv pri ikh udobrenii i izvestkovanii [The Principles of the Forest Soils Protection when Their Fertilization and Liming]. *Okhrana*

For citation: Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A. The Aftereffect of 30-Year-Long Annual Phosphorous Fertilizers Application on the Pine Diameter Growth and Timber Quality. Report II. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 49–60. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

prirody i primeneniye khimicheskikh sredstv v sel'skom i lesnom khozyaystve [Nature Conservation and the Use of Chemicals in Agriculture and Forestry]. Leningrad, 1981, pp. 60–65.

4. Kazimirov N.I., Gorbunova T.M. Lesovodstvennaya effektivnost' primeneniya azotnykh udobreniy [Silvicultural Efficiency of Nitrogen Fertilizers]. *Struktura i proizvoditel'nost' sosnovykh lesov na Evropeyskom Severe* [Structure and Productivity of Pine Forests in the European North]. Petrozavodsk, 1981, pp. 60–70.

5. Kazimirov N.I., Kulikova V.K., Novitskaya Yu.E. Primeneniye mineral'nykh udobreniy v elovykh lesakh Karelii [The Use of Mineral Fertilizers in the Spruce Forests of Karelia]. *Pitanie drevesnykh rasteniy i problema povysheniya produktivnosti lesov* [Woody Plants Nutrition and the Problem of Increasing of Forest Productivity]. Petrozavodsk, 1972, pp. 74–92.

6. Kononov V.N. Fiziologicheskaya otsenka vozdeystviya mineral'nykh udobreniy na drevesnye rasteniya Kraynego Severa [Physiological Assessment of Impact of Mineral Fertilizers on Woody Plants in the Far North]. *Severnye lesa: sostoyanie, dinamika, antropogennoe vozdeystvie: materialy Mezhdunar. simp.* [Boreal Forests: State, Dynamics, Anthropogenic Impact: Proc. Intern. Symp.]. Arkhangelsk; Moscow, 1990, part 2, pp. 107–112.

7. Kulikova V.K. Izmeneniye agrokhimicheskikh svoystv pochv pri vnesenii mineral'nykh udobreniy [Change of Soils Agrochemical Properties at Mineral Fertilizing]. *Povysheniye effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe: sb. nauch. tr.* [Improving the Reforestation Efficiency in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 24–41.

8. Lyr H., Polster H., Fiedler J. *Gehölzphysiologie*. Vienna, 1974. 424 p.

9. Listov A.A. *Bory-belomoshniki* [Lichen Coniferous Forests]. Moscow, 1986. 181 p.

10. Mel'nikov E.S., Sennov S.N., Gryaz'kin A.V., Martynov A.N., Smirnov A.P. Zakonomernosti vosstanovitel'nykh protsessov v lesnykh ekosistemakh na ob"ektakh khozyaystvennogo vozdeystviya [Patterns of Recovery Processes in the Forest Ecosystems at the Sites of the Economic Impact]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2003, no. 169, pp. 191–205.

11. Mineev V.G., Gomonova N.F. Znachenie fosfora v uluchshenii svoystv dernovo-podzolistoy pochvy pri deystvii i posledeystvii dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobreniy [The Value of Phosphorus in Improving the Properties of the Sod-Podzolic Soil Under the Action and the Aftereffect of Long Application of Fertilizers]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2009, no. 2, pp. 3–9.

12. Morozova R.N., Bogdanova G.I. Gruppovoy sostav fosfatov pochv sosnovykh lesov [Group Composition of Soil Phosphates of Pine Forests]. *Struktura i proizvoditel'nost' sosnovykh lesov na Evropeyskom Severe* [Structure and Productivity of Pine Forests in the European North]. Petrozavodsk, 1981, pp. 29–48.

13. Pobedov V.S., Volchkov V.E. Diagnostika rezhima mineral'nogo pitaniya i primeneniye udobreniy v sosnovykh lesakh BSSR [Diagnosis of the Regime of Mineral Nutrition and Fertilizers Application in the Pine Forests of the BSSR]. *Pitanie drevesnykh rasteniy i problema povysheniya produktivnosti lesov* [Woody Plants Nutrition and the Problem of Increasing of Forest Productivity]. Petrozavodsk, 1972, pp. 34–47.

14. Slyadnev A.P. Effektivnost' primeneniya mineral'nykh udobreniy pri vyrashchivaniy sosnovykh nasazhdeniy zony smeshannykh lesov [The Efficiency of Application of Mineral Fertilizers when Pine Plantations Growing in the Mixed Forest Zone]. *Primeneniye mineral'nykh udobreniy v lesnom khozyaystve* [The Use of Mineral Fertilizers in Forestry]. Minsk, 1974. 80 p.

15. Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A., Krivenko T.I. Uskorennoe vyrashchivanie kul'tur eli v srednetaezhnoy podzone Karelii [Accelerated Growing of Spruce Cultures in the Middle Taiga Subzone of Karelia]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 96–105.
16. Stepanenko I.I. Kriterii i indikatory rosta, produktivnosti lesnykh nasazhdeniy pri ikh intensivnom vyrashchivanii [Criteria and Indicators of Growth, Productivity of Forest Stands Under Their Intensive Cultivation]. *Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 4, pp. 18–29.
17. Fedorets N.G. Pochvennye usloviya vyrubok Karelii poslednego desyatiletia [Soil Felling Conditions of the Last Decade in Karelia]. *Voprosy lesovosstanovleniya i lesozashchity v Karelii* [Problems of Reforestation and Forest Protection in Karelia]. Petrozavodsk, 1983, pp. 4–13.
18. Tsvetkov V.F. *Sosnyaki Kol'skoy lesorastitel'noy oblasti i vedenie khozyaystva v nikh* [Pine Forests of the Kola Forest Growth Area and Management]. Arkhangelsk, 2002. 380 p.
19. Chumak N.F. *Mikorizy sosny na peschanykh pochvakh v svyazi s primeneniem udobreniy*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Mycorrhizae of Pine on Sandy Soils in Connection with Fertilizing: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Petrozavodsk, 1981. 25 p.
20. Shubin V.I. Vliyanie udobreniy na rost kul'tur sosny na peschanykh pochvakh [Effect of Fertilizers on the Growth of Pine Crops on Sandy Soils]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe: sb. nauch. tr.* [Improving the Reforestation Efficiency in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 78–87.
21. Shubin V.I., Geles I.S., Krutov V.I., Morozova R.M., Sokolov A.I. *Povyshenie proizvoditel'nosti kul'tur sosny i eli na vyrubkakh* [Increasing the Productivity of Pine and Spruce Crops in Clearings]. Petrozavodsk, 1991. 176 p.
22. Shutov I.V., Maslakov E.L., Markova I.A., Polyanskiy E.V., Bel'kov V.P., Gladkov E.G., Golovchanskiy I.N., Ryabinin B.N., Morozov V.A., Shimanskiy P.S. *Lesnye plantatsii (Uskorennoe vyrashchivanie eli i sosny)* [Forest Plantations (Fast Growing of Spruce and Pine)]. Moscow, 1984. 248 p.
23. Comerford N.B., de Barros N.F. Phosphorus Nutrition of Forest Trees. *Phosphorus: Agriculture and the Environment. Agronomy Monograph. Am. Soc. Agron.* Ed. by T.J. Sims, A.N. Sharpley. USA, Madison, WI, 2005, no. 46, pp. 541–558.
24. Snowdon P., Waring H.D. Growth Responses by *Pinus radiata* to Combinations of Superphosphate, Urea and Thinning Type. *Forest Ecology and Management*, 1990, vol. 30, iss. 1–4, pp. 313–325.
25. Turner J., Lambert M.J. Long-Term Growth Responses to Phosphatic Fertilisers in a *Pinus radiata* Plantation. *Australian Forestry*, 2015, vol. 78(4), pp. 207–218.
26. Turner J., Lambert M.J., Humphreys F. Continuing Growth Response to Phosphate Fertilizers by a *Pinus radiata* Plantation Over Fifty Years. *Forest Science*, 2002, vol. 48, pp. 556–568.

Received on November 14, 2016
