

Б. Д. ЖИЛКИН, В. П. ГРИГОРЬЕВ, Л. Н. РОЖКОВ

## ОПЫТ УЛУЧШЕНИЯ АЗОТНОГО И МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ КУЛЬТУРОЙ ЛЮПИНА МНОГОЛИСТНОГО

Пониженная продуктивность лесов в центральных и западных районах нечерноземной полосы СССР, по сравнению со средневропейскими лесами, вызывает необходимость разработки активных лесоводственно-биологических мероприятий по повышению их продуктивности. Решающее значение при этом имеют мероприятия, направленные на улучшение питания, обмена веществ и водно-воздушного режима древесных растений. Регулирование данных процессов можно осуществлять методами направленного изменения среды, более полного и всестороннего использования существующего плодородия лесных почв, а также путем значительного его повышения, что и приведет к улучшению роста леса.

Лесные дерново-подзолистые почвы обычно бедны органическим веществом, это, наряду с другими климатическими и экологическими факторами, чаще всего и обуславливает их плохие водные свойства, низкую буферность, бедность основаниями и другими минеральными элементами. Наиболее же дефицитным элементом питания на дерново-подзолистых почвах нечерноземной полосы СССР является азот. По данным Е. Н. Мишустина (1968), А. В. Петербургского (1968) и В. И. Любимова (1969), с урожаем сельскохозяйственных культур во всем мире из почвы уносится ежегодно 100—110 млн. т азота, а химическая промышленность мира вырабатывает его лишь 14,5 млн. т. Очевидно, применение минеральных удобрений на огромных площадях наших лесов не является делом близкого будущего. В настоящее время наиболее доступным средством повышения плодородия лесных почв, и тем самым повышения продуктивности лесов, нам представляется биологическая мелиорация их культурой люпина и других азотособирателей, позволяющая разрешить проблему дефицита азота в почве.

В настоящее время биологическая мелиорация лесов культурой люпина проводится на значительных площадях в производственных условиях во многих областях нечерноземной полосы БССР, РСФСР и других (Моисеенко, 1965; Бочкарев, 1967; Берегова, 1969).

Кафедрой лесоводства Белорусского технологического института им. С. М. Кирова в течение последних 25 лет ведется разработка и применение системы мероприятий по повышению продуктивности лесов. Предпочтение отдано биологической мелиорации лесов культурой многолетнего люпина. Настоящая работа посвящена этой теме.

Исследования проводились в культурах ели обыкновенной в Ярцевском лесхозе Смоленской области на двух пробных площадях. Схема

закладки опытов составлена на основании методики кафедры лесоводства БТИ и новейших методик закладки сельскохозяйственных опытов с таким расчетом, чтобы ошибка опыта не превышала 6%, в одном ряду вмещалось целое число повторностей, на секции было не меньше 200 де-

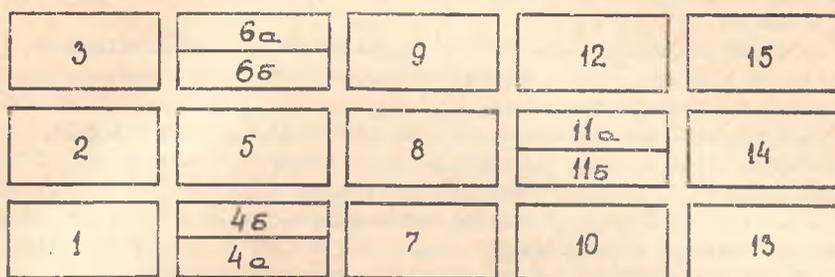


Рис. 1. Схема опыта с последующим введением многолетнего люпина в между-рядья культур ели. Пробная площадь 1 в ельнике черничном II бонитета:

Секции (20X40M): 1, 9, 14 — контрольные; 3, 8, 13 — однорядный посев люпина; 5, 10, 12 — двухрядный посев люпина; 2, 7, 15 — трехрядный посев люпина; 4a, 6a, 11a — трехрядный посев люпина свежесобранными семенами; 4б, 6б, 11б — подзимний посев.

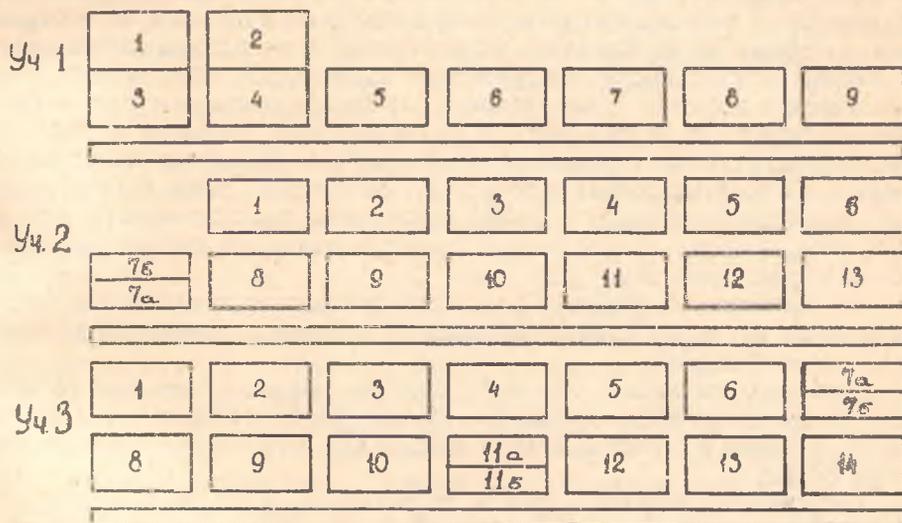


Рис. 2. Схема опыта с сопутствующим введением многолетнего люпина в между-рядья культур ели. Пробная площадь 2 в ельнике дубово-снытьевом Ia бонитета.

Секции (16,7X30M) участка 1: 1, 2, 5 — контрольные; 3, 7, 9 — однорядный посев люпина; 4, 6, 8 — двухрядный посев люпина. Секции участка 2: 2, 5, 11 — контрольные; 5, 8, 10 — однорядный посев люпина; 1, 4, 12 — двухрядный посев люпина; 3, 9, 13 — трехрядный посев люпина; 7a — трехрядный посев люпина свежесобранными семенами. Секции участка 3: 2, 10, 13 — контрольные; 3, 6, 12 — однорядный посев люпина; 4, 8, 14 — двухрядный посев люпина; 1, 5, 9 — трехрядный посев люпина; 7a, 11a — трехрядный посев люпина свежесобранными семенами; 7б, 11б — подзимний посев.

ревьев. При этом для планирования эксперимента были использованы современные математические методы, включающие выбор схемы эксперимента и анализ экспериментальных данных (Бейли, 1963; Хикс, 1967). Схемы опытов приведены на рисунках 1 и 2.

Пробная площадь 1 заложена в ельнике черничном (V<sub>3</sub>), площадь ее 1,76 га. Почва дерново-подзолистая, развивающаяся и подстилаемая

супесью легкой. Культуры ели созданы весной 1963 г. по раскорчеванной, всплошь вспаханной и продискованной почве посадкой четырехлетних саженцев. Размещение культур  $1,5 \times 0,7$  м. В 1964 г. в междурядьях культур был высеван многолетний люпин. Естественное возобновление и подросток на пробной площади отсутствуют. Травяной покров представлен вейником, мятликом, золотой розгой, сушеницей, лапчаткой и другими травами.

Пробная площадь 2 заложена в ельнике дубово-снытьевом (С<sub>3</sub>), площадь ее 6,50 га. Почва дерново-подзолистая, развивающаяся и подстилаемая суглинком тяжелым. Культуры ели созданы весной 1964 г. посадкой трехлетних саженцев по раскорчеванной, всплошь вспаханной и продискованной почве с одновременным посевом многолетнего люпина в междурядьях культур. Размещение культур  $1,8 \times 1,2$  м. Естественное возобновление из березы и осины незначительное. В травяном покрове вейник наземный, подорожники ланцетолистный и круглолистный, пикульник, мятлик луговой, сныть, иван-чай и другие травы.

Одна из особенностей — применение укрупненного (3—4-летнего) посадочного материала для создания культур ели. К моменту закладки опытных объектов было известно, что ель и лиственница лучше, чем сосна, реагируют на биологическую мелиорацию культурой люпина, но ель в течение первых семи—восьми лет роста чаще всего отстает от контрольных экземпляров в связи с ее заглушением люпином. С помощью укрупненного посадочного материала и более совершенной агротехники посева люпина предполагалось по возможности устранить возникающие на первых этапах роста конкурентные взаимоотношения между елью и люпином и добиться существенного улучшения роста ели уже с первых трех—четырёх лет. Кроме того, один из объектов заложен в условиях высокопродуктивных ельников I—Ia бонитетов, произрастающих на относительно богатых почвах в результате смены дуба елью. В таких условиях применение люпина в целях повышения продуктивности ели не изучалось, поэтому полученные данные представляют определенный научный и практический интерес.

На заложенных пробных площадях проводятся комплексные исследования по изучению влияния люпина на отдельные компоненты еловых культурбиогенезов.

Для агрохимических анализов брались образцы почв при 15-кратном смешении из трех глубин (5—10, 20—25, 35—40 см) в полуметровом слое почвы в середине второй декады каждого месяца с мая по сентябрь 1968 г.

Содержание общего азота и подвижных форм определялось по И. Ф. Голубеву, валовое содержание  $P_2O_5$  — по Ле Ван Тием, групповой состав фосфатов — по Ф. В. Чирикову, обменный  $K_2O$  — по А. Л. Масловой, необменный  $K_2O$  — по методу 2,0 н солянокислой вытяжки Почвенного института им. В. В. Докучаева, рН водный и  $KCl$  — потенциметрически, гидролитическая кислотность — по Каппену, сумма поглощенных оснований — по Каппену — Гильковицу, обменная кислотность и подвижный алюминий — по А. В. Соколову.

Биологический круговорот органического вещества, азота и зольных элементов изучался по методике Н. П. Ремезова и др. (1959) и Л. Е. Родина и др. (1968). Изучение структурных элементов фитомассы, а также ежегодного прироста и опада растений производилось в два срока — 13—15 июня и 9—10 сентября 1968 г., т. е. в начале и в конце вегетационного периода.

Химический анализ частей растений осуществлялся по общепринятым методикам. В частности, азот определялся колориметрически с ре-

активом Несслера, фосфор — колориметрически (вариант Шмука и Курило, 1926), калий и натрий — на пламенном фотометре, кальций и магний — комплексометрическим методом, алюминий — колориметрически с алюминоном, марганец — колориметрически с персульфатом аммония, сера — весовым методом.

Прежде чем перейти к изложению вопроса о влиянии люпина на азотное и минеральное питание ели, рассмотрим результаты исследования влияния люпина на некоторые другие компоненты еловых культур-биогеоценозов.

Введенный в междурядья лесных культур с целью повышения их продуктивности многолетний люпин многолистный значительно увеличивает растительную массу и общую сомкнутость фитоценоза, вследствие чего существенно изменяются и экологические условия местообитания. Урожай люпина в 1968 г. составлял в сыром состоянии зеленой массы до 28,5, семян — до 1,3, корней — до 21,4 т/га. Высота люпина достигала 100—130 см, глубина проникновения основной массы корней — 55—65 см.

Многолетний люпин существенно изменяет фитоклимат молодых посадок ели при совместном их произрастании за счет снижения освещенности в припочвенном слое, уменьшения движения воздуха и изменения теплового и водного режима. В культурах ели с люпином создается более умеренная температурная обстановка в зоне роста и развития корневых систем и зеленых частей растений в результате уменьшения амплитуд температуры воздуха и почвы, понижаются физиологически вредные высокие температуры, наблюдается более высокий отрицательный температурный градиент.

Как и любой растительный покров, люпин активно влияет на распределение температур по вертикальному профилю. В культурах без люпина деятельным слоем, поглощающим солнечные лучи днем и излучающим тепло ночью, является поверхность почвы. В елово-люпиновых культурах роль аккумулятора солнечной энергии принимает на себя люпиновый травостой, тем самым избавляя поверхность почвы от значительных суточных амплитуд температур в летнее время.

Под влиянием люпина повышается относительная и абсолютная влажность воздуха и наблюдается ее меньший дефицит.

Влажность полуметрового слоя почвы в культурах с люпином и без него на протяжении вегетационного периода существенно не различалась. Благодаря затенению почвы люпином и характеру распределения корневых систем ели и люпина поверхностные слои почвы в культурах с люпином оказались в целом более влажными, а на глубине 35—50 см несколько суше, чем в культурах без люпина.

В целом изменения микроклиматических факторов под влиянием люпина благоприятствуют росту молодых посадок ели.

Важную роль в плодородии почв играют микроорганизмы, обеспечивающие разнообразные процессы превращения веществ — минерализации и синтеза. При использовании в земледельческой практике в качестве зеленого удобрения люпина процессы разложения его молодой растительной массы, богатой белками и воднорастворимыми веществами, идут настолько бурно, что затрагивают и основной фонд органического вещества (Тюрин, Михновский, 1961). При этом содержание гумуса и органического азота в почве спустя некоторое время после заделки зеленого удобрения может даже уменьшиться по сравнению с исходным состоянием. Образующиеся же в избытке продукты минерализации, не будучи использованы последующей культурой, подвержены непроизводительным потерям. В связи с этим ряд исследователей рассматривает

положительное влияние зеленого удобрения на баланс органического вещества как явление скоропреходящее и видит положительную его сторону в основном в улучшении физических свойств почвы и питательного режима, в частности азотного.

Проведенные нами исследования влияния междурядной культуры люпина на деятельность почвенной микрофлоры в еловых культурах выявили следующие особенности.

Под влиянием междурядной культуры люпина общая численность почвенной микрофлоры увеличивается — в большей степени в условиях легких по механическому составу супесчаных и легкосуглинистых почв (в 1,4—7,8 раза) и в меньшей степени (с возможным снижением количества) в условиях средне- и тяжелосуглинистых почв.

При междурядной культуре люпина на супесчаных и легкосуглинистых почвах разложение органического вещества почвы на начальной стадии идет интенсивнее, чем в культурах ели без люпина, на поздних этапах минерализации — затормаживается; на средне- и тяжелосуглинистых почвах в культурах с люпином наблюдается более медленное начальное разложение органических веществ и их аммонификация и усиление мобилизационных процессов при последующих стадиях минерализации. В обоих случаях под влиянием люпина бурного развития процессов разложения, так же как и затормаживания, не отмечается, поскольку интенсификация микробиологических процессов на любом из этапов разложения органических веществ хотя и увеличивается, но отстает от прибавок органического вещества за счет люпинового опада.

Комплексная оценка влияния междурядной культуры люпина на азотное и минеральное питание ели основана на данных агрохимических исследований, биологического круговорота, баланса органического вещества, азота и зольных элементов еловых культурфитоценозов, а также листовой диагностики.

Таблица 1 знакомит с физико-химическими показателями почвы исследуемых пробных площадей. В целом, по классификации Д. Л. Аскинази и С. С. Ярусова (1954), они относятся к классу кислых почв. Существенного влияния люпина на активную кислотность почв не выявлено. Под влиянием люпина возросла обменная способность почвы за счет увеличения гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований. Однако ввиду того что гидролитическая кислотность повысилась в большей степени, на секциях с люпином несколько снизилась степень насыщенности поглощающего комплекса почвы основаниями. Обменная кислотность, обусловленная главным образом активными ионами алюминия, не изменилась.

Повышение гидролитической кислотности почвы под влиянием люпина отмечалось и ранее (Поджаров, 1958; Юшкевич, 1962; Жилкин, 1965 и др.). Между тем на окультуренных почвах при запашке люпина гидролитическая кислотность обычно снижается (Алексеев, 1951; Асаров, 1952 и др.). При междурядной культуре люпина, по-видимому, создаются специфические условия для накопления и разложения органического вещества, способствующие ее увеличению. При запашке люпина на лесных дерново-подзолистых почвах также наблюдается увеличение гидролитической кислотности (Роговой, Юшкевич, 1960). Очевидно, это противоречие требует самостоятельного решения.

Увеличение суммы поглощенных оснований отмечалось многими исследователями (Григорьев, 1964; Жилкин, 1965; Рихтер, 1966; Егоренков, 1968; Смирнов, 1968 и др.).

Значительные запасы фитомассы, ежегодно накапливаемые люпиновым травостоем, привели к увеличению в почве запасов гумуса

Таблица 1

Изменение кислотности и поглощенных оснований под влиянием люпина  
(средние показатели за май—сентябрь 1968 г.)

Глубина, см	рН		Гидроли- тическая кислот- ность м-экв на 100 г почвы	Сумма поглощен- ных осно- ваний	Степень насыщен- ности почв основа- ниями, %	Обменная кислот- ность, м-экв на 100 г почвы	В том числе	
	H <sub>2</sub> O	KCl					обменный H <sup>+</sup>	активный Al <sup>3+</sup>
	Пробная площадь 1 в ельнике черничном II бонитета							
5—10	5,45	4,61	5,15	3,08	37,4	0,22	0,03	0,19
	5,53	4,50	6,28	3,54	36,1	0,22	0,03	0,19
20—25	5,62	4,74	3,23	1,94	37,5	0,21	0,03	0,18
	5,61	4,54	4,58	2,29	34,2	0,23	0,03	0,20
35—40	5,64	4,73	2,77	1,75	38,7	0,17	0,02	0,15
	5,55	4,70	3,09	2,05	39,9	0,15	0,03	0,12
Пробная площадь 2 в ельнике дубово-снытьевом Ia бонитета								
5—10	5,06	4,09	11,69	2,84	19,5	1,17	0,08	1,09
	5,04	3,99	13,46	3,02	18,3	1,24	0,08	1,16
20—25	5,10	4,05	9,26	2,92	23,9	1,19	0,07	1,12
	4,99	4,03	12,31	2,62	17,8	1,38	0,07	1,21
35—40	5,02	3,93	10,94	3,22	29,8	1,98	0,07	1,91
	5,02	3,97	11,61	2,86	20,0	1,81	0,08	1,73

Примечание. В числителе приводятся данные для контрольных секций, в знаменате-  
ле — для секций с люпином.

(табл. 2) в среднем на 57% на пробной площади 1 и на 78,5% на пробной площади 2, т. е. на 10,56 и 26,12 т/га соответственно. По общему азоту прибавка составляет 435 кг/га, или 22,4%, на пробной площади 1 и 1494 кг/га, или 39,9%, на пробной площади 2. Прибавки органического вещества оказались более высокими в условиях ельника дубово-снытьевского. Объясняется это более высоким наращиванием здесь запасов люпиновой массы и по-разному складывающимися условиями минерализации органического вещества. Валовые запасы фосфорной кислоты (см. табл. 2) в полуметровом слое почвы еловых культур с люпином и без люпина существенно не различаются. Следует отметить, что в отношении влияния междурядной культуры люпина на содержание фосфора в почве в литературе встречаются несколько противоречивые данные. В. Ф. Морозов (1966) на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах сосновых лесов БССР, а В. Н. Смирнов (1968) на дерново-подзолистых песчаных и суглинистых почвах Марийской АССР отмечают увеличение подвижной фосфорной кислоты под влиянием люпина. В. П. Григорьев (1964) и И. Э. Рихтер (1966) не выявили изменений в ее запасах, а М. А. Егоренков (1968) наблюдал снижение содержания фосфора в почве под влиянием междурядной культуры люпина. В свою очередь Л. И. Лахтанова (1969, 1970) в вегетационных опытах, поставленных по методике И. Н. Рахтеенко с меченым фосфором P<sup>32</sup>, определила, что интенсивное поглощение и выделение фосфора сосной и люпином приурочены к разным срокам и что в периоды усиленного поглощения фосфора сосной происходит наибольшее выделение его люпином.

А. Д. Майснер (1969) в работе, выполненной под руководством И. Н. Рахтеенко, выявил, что пырей ползучий, многолетний люпин и люпин кормовой в начальные периоды своего развития (июнь—июль) и в конце вегетации (сентябрь—октябрь) повышают активность поглощения меченого фосфора елью в 2—4 раза, и лишь в августе под их воздействием ель резко (в 3—7 раз) снижает активность его поглощения. Все это свидетельствует как о наличии благоприятных, так и о возможности конкурентных взаимоотношений между древесными растениями и люпином при фосфорном питании. В дальнейшем мы еще будем обсуждать этот вопрос.

Таблица 2

Запасы элементов питания в полуметровом слое почвы  
(в среднем за май—сентябрь 1968 г.)

Гумус, т/га	N, кг/га			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг/га			K <sub>2</sub> O, кг/га		Al <sup>3+</sup> под- виж- ный, кг/га		
	общий	гидролизуемый (по Голубеву)			вало- вой	группы фосфатов (по Чирикову)				обмен- ной	необ- мен- ный
		в 4,0 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	в 1,0 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	в 0,1 Н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		4+5	3	1+2			

Пробная площадь 1

18,52	1943	613	299	106	1890	904	839	146	169	1575	80
29,08	2378	754	357	110	1830	1066	658	106	195	1710	76

В % к контролю

157,0	122,4	123,0	119,4	103,8	96,8	117,9	78,4	72,6	115,4	108,6	95,0
-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-------	-------	------

Пробная площадь 2

33,26	3743	829	469	223	2275	1360	857	58	340	6260	842
59,38	5237	1110	570	297	2267	1570	668	29	329	6210	843

В % к контролю

178,5	139,9	133,8	121,5	133,2	99,6	115,4	77,9	50,0	96,8	99,2	100,0
-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	------	------	-------

Примечание. В числителе приведены данные для контрольных секций, в знаменателе — для секций с люпином.

Запасы обменного и необменного калия (см. табл. 2) в полуметровом слое почвы еловых культур с люпином и без него изменяются незначительно (на пробной площади 1 повысились, а на пробной площади 2 равные). Предшествующими исследованиями (Рихтер, 1966; Жилкин, 1966; Морозов, 1966; Смирнов, 1968 и др.) выявлено увеличение в почве обменного калия под влиянием люпина.

В таблице 2 приведены также данные о запасах в почве подвижного алюминия, в значительной степени обуславливающего обменную кислотность исследуемых почв. Можно заметить, что существенного влияния на содержание подвижного алюминия в почве люпин не оказывает. Отметим, однако, что В. Н. Смирнов (1968) обнаружил уменьшение содержания подвижного алюминия под влиянием люпина в почве сосняков.

Распределение валовых запасов гумуса, азота, фосфора и калия в почве дает лишь представление о потенциальных возможностях питания растений в сравнительно длительных промежутках времени. Вероятность того, что определенная часть этих элементов выпадет из сферы

биологического круговорота либо вообще, либо в определенный промежуток времени, связанный с экологическими факторами, микробиологическими и биохимическими процессами, исключена. Поэтому на любом этапе развития фитоценоза большое значение имеют подвижные, легко усвояемые формы элементов. Они представляют собой наиболее мобильную категорию, находясь в подстилке, почве и растениях. Причем повышенная продуктивность фитоценоза под влиянием тех или иных причин может привести к снижению содержания подвижных элементов в почве.

В таблице 2 приведены данные о подвижных формах элементов питания: азота — по кривым растворимости И. Ф. Голубева, группы фосфатов — по Ф. В. Чирикову и обменного и необменного калия. Если учесть еще и вынос элементов питания на построение годичного прироста, который осуществляется главным образом за счет наиболее подвижных форм элементов и который выше на секциях с люпином по азоту на 126—142 кг/га, по фосфорной кислоте на 22—33 кг/га и по калию на 90—118 кг/га, то можно сделать следующие выводы. Под влиянием люпина повысилось содержание подвижных форм азота и калия. В культурах с люпином наблюдается повышенное потребление фосфора из первых трех групп фосфатов (по Ф. В. Чирикову), включающих в себя минеральные формы фосфатов. В результате запасы минеральных форм фосфора в почве снижаются и идет накопление органических фосфатов, усвоение которых растениями возможно после минерализации. Процесс же разложения органического вещества в условиях кислой реакции среды при снижении прогреваемости почвы и при воздействии ряда других факторов отстает от темпов поступления органического вещества за счет люпинового опада. Тем не менее и при данных условиях нет оснований пока говорить об ухудшении фосфорного питания под влиянием люпина, так как запасы наиболее подвижных соединений фосфора, по Ф. В. Чирикову (1+2 гр.), и подвижной фосфорной кислоты, по А. Т. Кирсанову, в течение вегетационного периода превышали его потребление на построение годичного прироста.

Изучение влияния тех или иных лесоводственных мероприятий на питание древесных растений представляется далеко не полным без знания качественных и количественных показателей биологического круговорота веществ в системе биоценоз — почва (в данном случае фитоценоз — почва). В ряде работ (Ремезов и др., 1959; Базилевич, Родин, 1964; Мина, 1955; Молчанов, 1961; Зонн и др. 1969 и др.) освещены вопросы биологического круговорота в различных типах лесных фитоценозов. Большое внимание этой проблеме уделяет и Международная биологическая программа.

Значительно меньше исследований по биологическому круговороту в молодняках 5—15-летнего возраста, ценозы которых находятся в стадии становления. Биологический круговорот здесь характеризуется возрастающим потреблением элементов питания на построение годичного прироста и небольшим их возвратом. В этом возрасте усилением емкости или интенсивности биологического круговорота посредством различных лесоводственных мероприятий можно задать повышенный ритм развития формирующемуся биогеоценозу на весьма длительный период, что приведет к повышению общей биологической продуктивности.

Итоговым результатом всех мероприятий по повышению продуктивности лесов является достижение максимально возможных прибавок органического вещества.

Накопление органического вещества в молодых культурах ели на пробных площадях 1 и 2 незначительное (табл. 3) и зависит от густоты посадки культур. Так, на пробной площади 1 (при 7419 деревьях на 1 га

на контроле и 7743 — с люпином) фитомасса на контрольной секции составила 8969 кг/га, в том числе надземная часть 3981 кг/га, и на пробной площади 2 (при 4227 деревьях на 1 га на контроле и 4282 — с люпином) соответственно 4719 и 1546 кг/га. Введение люпина в междурядья культур привело к увеличению содержания органического вещества в фитомассе в 2,5 раза на пробной площади 1 и в 3,1 раза на пробной площади 2. Основная прибавка органического вещества приходится на долю люпина, фитомасса ели также в 1,3—1,4 раза выше в культурах с люпином.

Здесь же значительно возросла емкость круговорота органического вещества с увеличением объемных показателей массы годичного прироста и возврата с опадом.

Таблица 3

Накопление органического вещества, азота и зольных элементов в фитомассе, потребление их на построение прироста и поступление в почву с ежегодным опадом кг/га

Элементы питания	Пробная площадь 1				Пробная площадь 2			
	в фитомассе	потребление на построение прироста	в ежегодном опале	удерживается истинным приростом	в фитомассе	потребление на построение прироста	в ежегодном опале	удерживается истинным приростом
Органическое вещество	8969	3494	2059	1435	4719	1712	1402	310
	22628	10664	8471	2193	14336	8179	7802	377
N	54,58	21,97	14,23	7,74	34,97	15,23	13,65	1,58
	251,59	148,23	130,66	17,57	237,56	157,38	153,79	3,59
Si	57,06	25,49	19,70	5,79	35,98	19,12	17,55	1,57
	120,05	62,14	47,20	14,94	70,15	52,39	50,65	1,74
Ca	31,90	21,58	11,88	9,70	24,30	12,37	10,15	2,22
	87,57	120,65	104,92	15,73	122,20	144,68	141,38	3,30
K	28,37	23,34	19,65	3,69	18,28	16,62	15,60	1,02
	68,54	121,86	113,40	8,46	105,13	91,74	89,62	2,12
Mg	28,17	10,89	6,55	4,34	18,04	7,00	5,94	1,06
	94,00	48,69	40,75	7,94	65,19	54,06	52,81	1,25
P	10,94	4,43	2,79	1,64	6,49	2,72	2,32	0,40
	29,28	14,01	11,31	2,70	27,45	16,93	16,28	0,65
Al	19,05	7,63	4,22	3,41	5,53	2,40	1,98	0,42
	45,90	21,83	20,48	1,35	32,11	15,40	15,27	0,13
Fe	8,83	4,27	2,74	1,53	8,00	2,86	2,46	0,40
	28,88	24,10	20,44	3,66	24,00	13,39	13,10	0,29
Mn	3,50	4,16	2,62	1,54	2,49	2,62	2,40	0,22
	9,44	9,94	7,77	2,17	7,08	7,67	7,37	0,30
S	9,72	3,95	2,80	1,15	7,59	3,26	2,65	0,61
	48,04	20,81	18,67	2,14	31,69	16,79	15,95	0,84
Na	4,50	1,74	1,01	0,73	2,00	2,02	1,88	0,14
	9,49	4,59	3,70	0,89	9,10	6,06	5,90	0,16
Сумма с N	256,62	129,45	88,19	41,26	163,65	86,22	76,58	9,64
	792,78	596,85	519,30	77,55	731,66	576,49	562,12	14,37

Примечание. В числителе приведены данные для контрольных секций, в знаменателе — для секций с люпином.

Истинный прирост фитомассы приходится только на ель, и он также увеличился под влиянием люпина в 1,5 раза на пробной площади 1 и в 1,2 раза на пробной площади 2.

В фитомассе еловых культур с люпином накапливается намного больше азота и зольных элементов (см. табл. 3). Основная часть прибавок в накоплении элементов питания, безусловно, идет за счет люпиновой массы, но и в фитомассе ели на секциях с люпином также содержится значительно больше элементов питания. Так, многолетняя надземная часть ели содержит азота в 1,7—2,5, кремния и кальция в 1,4—1,5, калия в 1,3—1,4, фосфора в 1,4—2,0 раза больше, чем на контроле. Больше элементов питания содержат также хвоя и корни ели на секциях с люпином.

Фитоценозом из почвы ежегодно извлекается такое количество азота и зольных элементов, которое обеспечивает воспроизводство отмершей зеленой части и текущий прирост. Как уже отмечалось, ежегодный прирост органического вещества значительно выше в культурах с люпином. Здесь же естественно ожидать и большего потребления элементов питания на построение годичного прироста в елово-люпиновом фитоценозе. Данные о содержании азота и зольных элементов в годичном приросте, опаде и о закреплении их в древостое приводятся в таблице 3.

В наибольших количествах потребляется азот, кальций, калий и кремний. Например, на построение годичного прироста в восьмилетних культурах в ельнике дубово-снытьевом без люпина потребляется на 1 га азота 15 кг и с люпином 157 кг, кремния соответственно 19 и 52, кальция — 12 и 145, калия — 17 и 92, магния — 7 и 54, фосфора — 3 и 17 кг.

Большая часть элементов питания в этом же году поступает обратно в почву с опадом, и лишь незначительная часть их удерживается истинным приростом, полностью приходящимся на многолетние надземные части, хвою и корни ели. Удержание азота и зольных элементов в истинном приросте также выше в елово-люпиновых культурах по сравнению с чистыми.

Далее важно определить влияние люпина на запасы основных элементов питания. Это необходимо и потому, что при характеристике запасов элементов питания в корнеобитаемом полуметровом слое почвы (см. табл. 2) не учитывались вынос химических элементов фитоценозом и аккумуляция их в подстилке, показатели которых значительно разнятся в культурах ели с люпином и без люпина. Поэтому была сделана попытка уточнить валовой баланс углерода, азота, фосфора и калия. Общий запас каждого элемента определялся как сумма его запасов в почве, подстилке и фитомассе. Этот баланс элементов питания не учитывает миграции минеральных элементов в связи с привнесом и выносом их с поступающей водой, выделения в почву органо-минеральных веществ корнями и ряд других моментов. Тем не менее установление такого баланса элементов мы считаем возможным и нужным для сопоставления результатов при принятом методе сравнительного анализа.

Как видно из таблицы 4, в результате пятилетнего влияния люпина на почву и фитоценоз наибольшим изменениям подверглось накопление углерода и азота. В ельнике черничном прибавка по углероду составляет 13,41 и по азоту 706 кг/га, а в ельнике дубово-снытьевом по углероду 20,9 и по азоту 1796 кг/га. Эти цифры подтверждают известное положение о том, что, чем выше исходное плодородие почв, тем сильнее и влияние люпина за счет более активной мобилизации атмосферного азота и резкого повышения фотосинтеза елово-люпиновых фитоценозов.

Изменения в аккумуляции элементов питания в культурах ели в результате пятилетнего влияния люпина на почву и фитоценоз

Углерод, т/га				Азот, кг/га				Фосфор, кг/га				Калий, кг/га			
в почве	в под- стилке	в фито- массе	итого	в почве	в под- стилке	в фито- массе	итого	в почве	в под- стилке	в фито- массе	итого	в почве *	в под- стилке	в фито- массе	итого
Пробная площадь 1															
10,74**	0,32	3,82	14,88	1943	7	55	2005	1890	3	25	1918	1575	9	34	1615
16,85	1,79	9,63	28,29	2378	81	252	2711	1830	20	67	1917	1710	91	82	1883
В процентах															
157,1	—	—	190,1	122,4	—	—	135,2	96,8	—	—	100,0	108,6	—	—	116,6
Пробная площадь 2															
19,29	0,46	2,00	21,75	3743	11	35	3789	2275	4	15	2304	6260	17	22	6299
34,44	2,12	6,09	42,65	5237	110	238	5585	2267	25	63	2355	6210	91	126	6427
В процентах															
178,5	—	—	196,1	139,9	—	—	147,4	99,6	—	—	102,2	99,2	—	—	102,0

\* Приведено содержание необменного  $K_2O$ .

\*\* В числителе приведены данные для контрольных секций, в знаменателе — для секций с люпином.

Баланс фосфорной кислоты под влиянием люпина не подвергся изменениям, в отношении калия отмечено незначительное накопление.

Для более полной оценки влияния люпина на азотное и минеральное питание ели, помимо агрохимического анализа и баланса биологического круговорота химических элементов, был использован метод листовой диагностики, что позволило установить обеспеченность ели элементами питания. Из таблицы 5 видно, что в хвое ели под влиянием люпина возросло содержание азота и кальция. Содержание фосфора практически не изменилось. В условиях ельника черничного под влиянием люпина содержание калия и магния в хвое повысилось, а в ельнике дубово-снытьевом снизилось.

И. Э. Рихтер (1970) также отмечает, что многолетний люпин оказывает положительное влияние на накопление азота, калия и магния в еловой хвое всех возрастов. Кальций и фосфор в хвое ели на участках с люпином во многих случаях накапливаются медленнее, чем на контрольных.

В целом метод листовой диагностики отражает картину азотного и минерального питания ели, и применение его можно считать перспективным.

Таблица 5

Атомарное содержание элементов питания в хвое ели  
(среднее за вегетационный период 1968 г.)

Пробная площадь	Возраст хвои, лет	Содержание, % к сухому весу хвои				
		N	P	K	Ca	Mg
1	1	1,04	0,19	0,56	0,44	0,23
		1,61	0,22	0,71	0,54	0,29
	2	0,79	0,17	0,47	0,76	0,29
		1,21	0,16	0,50	0,98	0,36
2	1	1,16	0,21	0,66	0,47	0,39
		1,54	0,19	0,51	0,43	0,17
	2	0,85	0,18	0,39	0,85	0,42
		1,28	0,15	0,33	0,93	0,31

Из литературных источников известны разные точки зрения в отношении первоочередности удобрения низко-, средне- и высокобонитетных насаждений. Большинство авторов высказывается за первоочередность удобрения среднебонитетных лесонасаждений. В связи с тем что один из наших объектов — ельник черничный — относится к среднебонитетному (II), а другой — ельник дубово-снытьевый — к высокобонитетному (I—Ia) насаждению, мы попытались выявить оценочные показатели обеспеченности почв и ели азотом в обоих случаях. Оказалось, что потребность почв под елью с люпином на пробной площади 2 в высокобонитетном ельнике дубово-снытьевом в азотных удобрениях (по В. Д. Панникову, 1964) является средней (шкала имеет четыре градации потребности: слабая, средняя, сильная и очень сильная), обеспеченность тоже средняя (шкалы обеспеченности еловых насаждений азотом — С. О. Tamm, 1954; O. Strebels, 1960; W. Nebe, 1963). W. Lanz (1969) приводит сводные данные многих авторов о минимуме и оптимуме атомарного содержания питательных веществ в отдельных древесных

породах (оценка в процентах от сухого веса однолетней хвои на конец вегетационного периода). Используя эти данные, устанавливаем, что содержание азота в однолетней хвое исследуемых культур ели как на контроле, так и на делянках с люпином не достигает оптимума, определенного в 1,8—2,4% (O. Strebel, 1960; W. Wittich, 1963; T. Jngestad, 1962/1963). Содержание фосфора лежит в пределах оптимума — 0,13—0,20% (J. Wehrmann, 1963; T. Jngestad, 1962/1963), содержание калия близко к оптимуму (оптимум 0,45—1,25%, по J. Wehrman, 1963). Количество кальция и магния также в пределах оптимальной нормы.

Все это подтверждает выводы многих исследователей о том, что наиболее дефицитным элементом питания на лесных дерново-подзолистых почвах следует считать азот. Наши исследования убеждают, что даже такие высокие прибавки в азоте, какие были получены в результате пятилетнего влияния люпина на почву в условиях, которые, казалось бы, не нуждаются в мелиорациях, что имеет место в ельнике дубово-снытьевом (D<sub>3</sub>) Ia бонитета, и то не в полной мере обеспечивают огромные потенциальные возможности повышения роста ели. Бояться «перекорма» древесных растений азотом под влиянием люпина нет основания и по той причине, что многолетний люпин оказывает не одностороннее, а многогранное и в подавляющем большинстве случаев благоприятное влияние на все компоненты биогеоценоза. Из наших данных уже было видно, что под влиянием люпина улучшается не только азотное, но и минеральное питание ели. Исследователи указывают на значительное усиление биологической активности почвы под влиянием люпина (Смирнов, 1968; Жилкин, Лахтанова, 1968), рост аммонифицирующей и нитрифицирующей способности почвы (Смирнов, 1968), интенсификацию деятельности почвенной мезофауны (Лавров, 1968). Поскольку эти факторы, а также влагообеспеченность и обуславливают то, что называется почвенным плодородием, мы вправе сделать вывод об улучшении почвенного плодородия лесных почв там, где имеет место совместная культура древесных растений и многолетнего люпина. Лесоводственные и другие мероприятия, направленные на улучшение почвенного плодородия, приведут и к повышению продуктивности древесных растений, потенциальные возможности которых еще недостаточно известны.

В заключение проанализируем данные о влиянии люпина на запасы стволовой древесины ели. Установление изменений в запасах древесины является очень важным моментом исследования, поскольку в этом показателе аккумулируются изменения всех других факторов, связанных с ростом. Как видно из таблицы 6, на пробной площади 1 зарегистрированы весьма существенные прибавки в запасе стволовой древесины. Так, средние из повторностей запасы в вариантах с одно- и трехрядными посевами люпина возросли по сравнению с контролем в 2 раза, в варианте с двухрядным посевом — в 1,5 раза. Несколько неопределенная картина наблюдается на пробной площади 2, где показатели запасов древесины подвержены значительному варьированию по вариантам опыта с отклонением от контролей как в сторону повышения, так и в сторону снижения запасов. Поэтому выяснение существенности различий по вариантам опыта было произведено с помощью дисперсионного анализа.

Из таблицы 7 видно, что на величину запасов оказалось достоверным влияние густоты культур (фактор А,  $F=10,7 > F_{01}=9,8$ ), влияние люпина (фактор В,  $F=8,3 > F_{01}=7,0$ ), а также суммарное влияние всех организованных факторов ( $x$ ,  $F=4,4 > F_1=3,2$ ). Показатели силы влияния всех организованных факторов также довольно высоки (от 52,8 до

Запасы стволовой древесины ели (м<sup>3</sup>/га) на опытных объектах на осень 1970 г.

Варианты опыта	Пробная площадь 1				Пробная площадь 2, участок 1				Пробная площадь 2, участок 2				Пробная площадь 2, участок 3					
	секция	запас, м <sup>3</sup>	% от контроля	секция	запас, м <sup>3</sup>	% от контроля	секция	запас, м <sup>3</sup>	% от контроля	секция	запас, м <sup>3</sup>	% от контроля	секция	запас, м <sup>3</sup>	% от контроля	секция	запас, м <sup>3</sup>	% от контроля
Контроль	1	6,88		1	1,35		2	1,32		2	0,54		2	0,54				
	9	2,23		2	1,33		6	1,10		6	0,82		10	0,82				
	14	4,48		5	0,23		11	0,94		13	0,86		13	0,86				
Среднее		4,53	100		0,97	100		1,12	100		0,74	100		0,74	100			
Однорядный посев люпина	3	12,39		3	2,47		5	1,24		3	1,15		3	1,15				
	8	6,22		7	1,93		8	1,12		6	0,96		6	0,96				
	13	8,85		9	1,41		10	0,78		12	1,32		12	1,32				
Среднее		9,15	202,0		1,94	200,0		1,05	93,8		1,14	154,1		1,14	154,1			
Двухрядный посев люпина	5	5,15		4	2,07		1	2,19		4	1,23		4	1,23				
	10	10,63		6	2,23		4	1,75		8	0,76		8	0,76				
	12	4,61		8	1,83		12	1,14		14	0,82		14	0,82				
Среднее		6,80	150,1		2,04	210,3		1,69	150,9		0,94	127,0		0,94	127,0			
Трехрядный посев люпина	2	14,35					3	1,09		1	1,37		1	1,37				
	7	8,16					9	1,10		5	1,24		5	1,24				
	15	4,69					13	0,95		9	0,82		9	0,82				
Среднее		9,07	200,0				1,05	93,8		1,14	154,1		1,14	154,1				

Дисперсионный анализ запасов стволовой древесины на пробной площади 2 по состоянию на осень 1970 г.

Варио- вание	A	B	AB	x	z	y
C	2,55	2,96	0,32	5,83	2,62	8,45
$\eta_i^2$	0,302	0,350	0,038	0,690	0,310	1,000
$\nu$	2	3	6	11	21	32
$\sigma_i^2$	1,28	0,99	0,05	0,53	0,12	
$F_i$	10,7	8,3	0,4	4,4		
$F_{st}$	{ 3,5—5,8—9,8 }	{ 3,1—4,9—7,9 }		{ 2,3—3,2—4,9 }		

$$\eta_A^2 = 0,302 \pm 0,030$$

$$\eta_A^2 = \{ 0,272 \div 0,332 \}$$

$$\eta_B^2 = 0,350 \pm 0,044$$

$$\eta_B^2 = \{ 0,306 \div 0,394 \}$$

$$\eta_x^2 = 0,690 \pm 0,162$$

$$\eta_x^2 = \{ 0,528 \div 0,852 \}$$

$$m_y = \pm 0,09 \text{ м}^3$$

$$\Delta = 0,18 \text{ м}^3 \text{ (при } \beta = 0,95 \text{)}$$

Примечание. Символы и биометрическая терминология использовались по Н. А. Плонинскому (1970).

85,2%), из них для густоты посадки  $\eta_A^2 = 27,2—33,2\%$  и для люпина  $\eta_B^2 = 30,6—39,4\%$ . Запас стволовой древесины не зависит от каких бы то ни было сочетаний густоты посева люпина и густоты посадки культур ели ( $F_{AB} = 0,4$ , влияние не доказано).

Наименьшая существенная разность на 5%-ном уровне вероятности составляет  $\Delta = 0,18 \text{ м}^3$ . Анализируя данные таблицы 6, видим, что несущественной оказалась разность в запасах лишь в двух вариантах на участке 2 (с однорядным и двухрядным посевами люпина). В целом же, повторяемся, влияние люпина доказано. И прибавки в запасах ели довольно ощутимы (в 2 раза и более на участке 1 и в 1,3—1,5 раза на участке 3). Это тем более важно, что влияние люпина не прекратилось. В ближайшие же годы, когда отставшая в росте значительная по численности часть деревьев перерастет люпиновой травостой и не будет испытывать затенения и механического воздействия люпина, следует ожидать еще больших прибавок в показателях роста ели. Для нас и теперь ясно, что своевременный уход за люпиновым травостоем путем прикатывания его вдоль рядков ели позволил бы уже к настоящему времени получить значительно более высокие прибавки в запасах древесины, нежели имеющие место.

Обобщая вышеизложенное, считаем возможным сделать следующие выводы и предложения.

Биологическая мелиорация молодых опытных культур ели, заложенных в ельнике черничном II бонитета и в ельнике дубово-снытьевом Ia бонитета посевом в междурядья многолетнего люпина многолистного, спустя 5 лет после его введения существенно улучшила среду произрастания ели. Улучшился фитоклимат, повысилась плодородие супесчаных и суглинистых дерново-подзолистых почв, возросли содержание органического вещества и обменная способность почв без изменения реакции

среды, повысилось содержание подвижных форм азота и калия, а содержание минеральных фракций фосфора уменьшилось, хотя происходит накопление его органических соединений.

Существенно изменился баланс элементов питания в биологическом круговороте. Количество углерода в общем балансе возросло на 90—95%, азота на 35—47, калия на 2—16%. Баланс фосфорной кислоты не подвергся изменениям.

Методом листовой диагностики установлено улучшение под влиянием люпина питания ели азотом, кальцием и калием; фосфорное питание ели не изменилось. Несмотря на существенное улучшение азотного питания ели в культурах с люпином атомарное содержание азота в однолетней хвое ели к концу вегетационного периода в исследованных типах леса не достигало оптимального содержания, приведенного для ельников средней Европы в работах W. Wittich (1963), W. Lanz (1969) и других. Поэтому повышение продуктивности наших ельников культурой люпина целесообразно не только в среднебонитетных, но и в высокобонитетных типах леса.

В результате семилетнего влияния люпина на компоненты молодых еловых культурбиогенезов получены существенные прибавки в росте по высоте, диаметру и запасу стволовой древесины ели.

Введение многолетнего люпина многолистного в культуры ели увеличило фитомассу живого напочвенного покрова в 4—5 раз. При этом хотя и не произошло полного вытеснения всей травянистой растительности, однако наблюдается явное снижение негативного влияния сорняков.

Елово-люпиновые культурбиогенезы являются удачно совмещенными сообществами из видов, ранее нигде в природе совместно не произраставших.

Конкурентные взаимоотношения между елью и многолетним люпином наблюдаются при одновременном с посадкой ели введением люпина (сопутствующая культура), когда мощный травостой последнего, обгоняя и затеняя ель, подавляет ее рост. Эти конкурентные взаимоотношения между елью и люпином в значительной степени устраняются с помощью правильной агротехники и укрупненного (3—4-летнего) посадочного материала, а в случае необходимости прикатыванием люпинового травостоя вдоль рядков ели специальным катком.

Таким образом, биологическая мелиорация лесов культурой многолетнего люпина является одним из доступных и эффективных способов повышения продуктивности еловых культурбиогенезов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Е. К. Сидеральные удобрения в БССР. Минск, 1951.
- Асаров Х. К. Многолетний люпин и реакция среды. Реф. докл. Моск. с.-х. акад., 1952, вып. 15.
- Аскинази Д. Л., Ярусов С. С. Определение кислотности подзолистых и дерново-подзолистых почв в целях их известкования. — В кн.: Агрохимические методы исследования почв. М., 1954.
- Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Типы биологического круговорота зольных элементов и азота в основных природных зонах северного полушария. — В кн.: Генезис, классификация и картография почв СССР. Докл. к VIII Международному конгрессу почвоведов. М., 1964.
- Берегова Т. С. Производственный опыт биологической мелиорации леса культурой многолетнего люпина в лесхозах БССР. — Тез. докл. науч.-техн. конференции молодых ученых Белоруссии (техн. и с.-х. науки). Минск, 1969.
- Бейли Н. Статистические методы в биологии. М., 1963.
- Бочкарев М. М. Перспективы повышения продуктивности лесов в зоне интенсивного ведения лесного хозяйства. — Лесное хоз-во, 1967, № 5.

Григорьев В. П. Улучшение роста сосновых молодняков междурядной культурой многолетнего люпина. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Минск, 1964.

Егоренков М. А. Влияние многолетнего люпина на рост дуба. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Минск, 1968.

Жилкин Б. Д. Повышение продуктивности лесов культурой люпина. Минск, 1965.

Жилкин Б. Д. Повышение продуктивности лесов культурой люпина. — В кн.: Повышение продуктивности лесов. Минск, 1966.

Жилкин Б. Д., Лахтанова Л. И. Изменение биологической активности почвы в культурах сосны под влиянием многолетнего люпина многолистного. — Докл. АН БССР, 1968, т. 12, № 6.

Зонн С. В., Сапожников А. П., Мусорок Г. Г. Некоторые аспекты изучения почв как компонентов лесных биогеоценозов на примере Дальневосточного Приморья. — Лесоведение, 1969, № 3.

Лавров М. Т. Фауна лесных почв и пути ее регулирования. М., 1968.

Лахтанова Л. И. Биологические основы взаимодействия сосны и люпина. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук. Минск, 1969.

Лахтанова Л. И. Сезонны рыт каранёвага жыўлення у сасны (*Pinus silvestris* L.) і лубіну (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) у чыстых і змешаных культурах. — Весті АН БССР. Сер. біял. навук, 1970, № 1.

Любимов В. И. Биохимия фиксации молекулярного азота. М., 1969.

Майснер А. Д. Особенности поглощения фосфора елью и травянистыми растениями при их совместном произрастании. — Тез. докл. Всесоюз. совещания по изучению взаимоотношений растений в фитоценозах. Минск, 1969.

Мина В. Н. Круговорот азота и зольных элементов в дубравах лесостепи. — Почвоведение, 1955, № 6.

Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Биологическая фиксация атмосферного азота. М., 1968.

Моисеенко С. Т. Внедрение достижений науки в лесное хозяйство БССР. — В кн.: Вопросы лесоведения и лесоводства. Минск, 1965.

Молчанов А. А. Круговорот органического вещества в процессе роста сосняка-черничника. — Сообщ. лаборатории лесоведения АН СССР, 1961, № 5.

Морозов В. Ф. Улучшение минерального питания сосны в борах и субборах Белоруссии. — В кн.: Повышение продуктивности лесов. Минск, 1966.

Панников В. Д. Почвы, удобрения, урожай. М., 1964.

Петербургский А. В. О балансе азота, фосфора и калия в земледелии. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1968, № 5.

Поджаров В. К. Влияния междурядной культуры многолетнего люпина (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) на продуктивность сосняков Белорусской ССР. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Минск, 1958.

Ремезов Н. П., Быкова Л. Н., Смирнова К. М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах Европейской части СССР. М., 1959.

Рихтер И. Э. Влияние многолетнего люпина на рост сосны и ели. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Минск, 1966.

Рихтер И. Э. Изменение содержания азота и зольных элементов в хвое ели обыкновенной в зависимости от условий произрастания. — Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журн., 1970, № 3.

Роговой П. П., Юшкевич И. А. Особенности дерново-подзолистых почв на флювиогляциальных песках и их освоение. — В кн.: Повышение плодородия легких почв. М., 1960.

Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л., 1968.

Смирнов В. Н. Почвы Марийской АССР. Йошкар-Ола, 1968.

Тюрин И. В., Михновский В. К. Влияние зеленого удобрения на содержание гумуса и азота в дерново-подзолистой почве. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1961, № 3.

Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. М., 1967.

Юшкевич И. А. Влияние промежуточной культуры люпина на плодородие почвы и производительность леса типа сосняк-брусничник. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук. Минск, 1962.

Lanz W. Forstdüngung (Sammelreferat) Beiheft zum Forstarchiv, Februar 1969.