

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА АЗОТА И ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ С МЕЖДУРЯДНОЙ КУЛЬТУРОЙ ЛЮПИНА

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

(Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова)

Изучение круговорота азота и зольных элементов в системе растение — почва — растение представляет исключительно большой научно-теоретический и практический интерес. В ряде работ (Ремезов, Быкова, Смирнова, 1959; Базилевич и Родин, 1964; Мина, 1955; Молчанов, 1961 и др.) освещены вопросы биологического круговорота различных типов лесных фитоценозов.

Значительно меньше исследований по биологическому круговороту проводится в молодняках 5—15-летнего возраста, ценозы которых находятся в стадии становления. Биологический круговорот веществ у них характеризуется возрастающим потреблением элементов питания на построение годичного прироста и небольшим возвратом их. Усилением интенсивности биологического круговорота посредством различных лесохозяйственных мероприятий можно повысить ритм развития формирующегося биогеоценоза на весьма длительный период, что приведет к повышению общей биологической продуктивности.

Настоящая работа посвящена исследованию биологического круговорота азота, кремния, кальция, калия, магния, фосфора, алюминия, железа, марганца, серы и натрия в еловых культурах 8- и 10-летнего возраста, подвергшихся биологической мелиорации междурядной культурой многолетнего люпина многолистного (*Lupinus polyphyllus* Lindl.). Впервые биологический круговорот азота и зольных элементов в сосняках и ельниках с междурядной культурой люпина исследовался Б. Д. Жилкиным (1959, 1964) и И. Э. Рихтером (1964, 1965). Однако эти исследования не касались фитоценоза в целом, а только древесной растительности.

Объектами исследования послужили культуры ели обыкновенной (*Picea excelsa* Link.), заложенные кафедрой лесоводства в Ярцевском опытно-показательном лесхозе Смоленской области. Исследования проводились на двух пробных площадях.

Пробная площадь 1 заложена в ельнике черничном (В₂), площадь ее — 1,76 га. Почва дерново-подзолистая, развивающаяся на супеси легкой и подстилаемая ею. Культуры ели произведены весной 1963 г. по раскорчеванной, сплошь вспаханной и продискованной почве посадкой 4-летних саженцев. Размещение культур 1,5×0,7 м. В 1964 г. в междурядах культур был посеян многолетний люпин. Естественное возобновление и подлесок на пробной площади отсутствуют. Травяной покров представлен вейником, мятликом, узиком, золотой розгой, сушеницей, лапчаткой и другими травами.

Пробная площадь 2 заложена в ельнике дубово-снытевом (С₃), площадь ее — 6,50 га. Почва дерново-подзолистая, развивающаяся на суглинке тяжелом и подстилаемая им. Культуры ели созданы весной

1964 г. посадкой 3-летних саженцев по раскорчеванной, сплошь вспаханной и продискованной почве с одновременным посевом многолетнего люпина в междурядьях культур. Размещение культур $1,8 \times 1,2$ м. Естественное возобновление незначительное из березы и осины. В травяном покрове вейник наземный, подорожники ланцетолистный и круглолистный, пикульник, мятлик луговой, сныть, иван-чай и другие травы.

Таксационная характеристика пробных площадей представлена в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика культур ели

Пробная площадь	Варианты опыта	Возраст ели, лет	Сроки действия люпина, лет	Деревьев на 1 га, шт.	Высота ели, см	Запас на 1 га, м ³
1	Контроль	10	—	7419	114	1,24
	2-рядный посев люпина	10	5	7743	130	1,82
2	Контроль	8	—	4227	71	0,21
	2-рядный посев люпина	8	5	4282	95	0,31

Изучение структурных элементов фитомассы, а также ежегодного прироста и опада растений проводилось на пробных площадках по методике Н. П. Ремезова и др. (1963) и Л. Е. Родина и др. (1968). Учет фитомассы и определение химических элементов производились на секциях контрольной и с люпином в 2 срока: 13—15 июня и 9—10 сентября 1968 г., т. е. в начале и в конце вегетационного периода. На каждой секции в оба срока тщательно (по средней высоте, диаметру на половине высоты и диаметру кроны) отбирались по 3 средних модели с размером площадки, равной средней площади питания одного дерева; определялась фитомасса по фракциям и брались образцы для химических анализов. Кроме того, для корректировки запасов фитомассы ели, люпина и трав привлекались данные по обмерам высот и диаметров у 200 деревьев на каждой секции за 1967 и 1968 гг. Также проводились ежегодно на этих объектах учеты фитомассы естественного травостоя и люпина и весовые показатели фитомассы у 5 моделей ели на каждой секции.

Химический анализ частей растений производился по общепринятым методикам (Аринушкина, 1961; Петербургский, 1963; Магницкий и др., 1959; Родин и др., 1968).

Итоговым результатом всех мероприятий по повышению продуктивности лесов является достижение максимально возможных прибавок органического вещества. При этом все большее использование получает не только деловая древесина ствола, но и остальные части дерева, являющиеся ценным растительным сырьем для лесохимической и лесоперерабатывающей промышленности (Калниньш, 1964).

В основе учета работы живого вещества лежат масса органического вещества, его годичная динамика (нарастание, отмирание) и химический состав.

В табл. 2 приводятся данные по учету сухого веса на одно среднее дерево в культурах ели.

Из табл. 2 видно, что люпин способствовал более интенсивному накоплению органической массы ели, причем наибольшие прибавки приходится на стволовую массу (41,3% на пробной площади 1 и 48,8% на пробной площади 2). Существенны прибавки в весе хвои и ветвей. Общая масса корней практически не изменилась под влиянием люпина.

Таблица 2

Сухой вес 1 среднего дерева в культурах ели, г

Пробная площадь	Надземная часть ели				Корни	Фитомасса
	хвоя	ветви	ствол	всего		
1	230	132	126	488	231	719
	270	175	178	623	230	853
% к контролю	117,2	132,6	141,3	127,7	99,6	118,6
% к фитомассе	32,0	18,3	17,6	67,9	32,1	100,0
	31,7	20,5	20,9	73,1	26,9	100,0
2	58	27	43	128	77	205
	79	38	61	181	84	265
% к контролю	136,2	140,0	148,8	141,4	109,1	129,2
% к фитомассе	28,3	13,2	21,0	62,5	37,5	100,0
	29,9	14,3	24,1	68,3	31,7	100,0

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

Очевидно, корневая система у ели в посадках с люпином работает более продуктивно. Такая же особенность отмечалась и Л. И. Лахта-

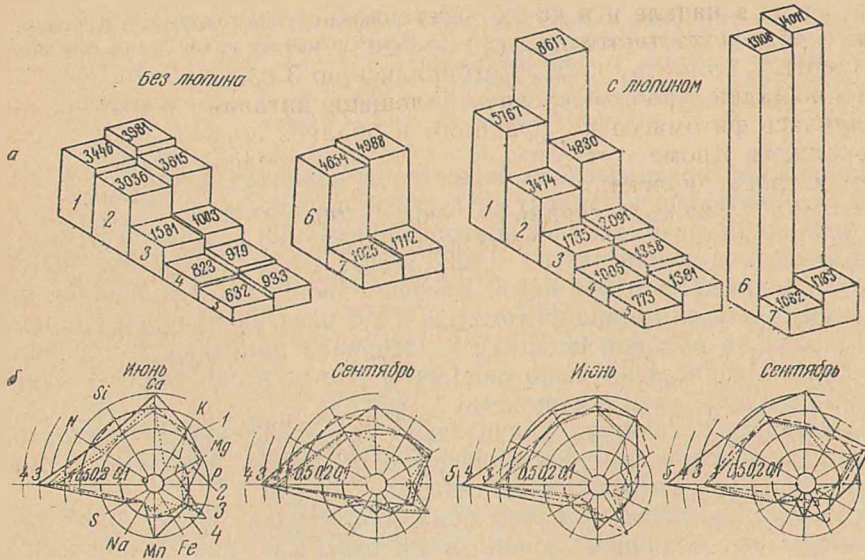


Рис. 1. а — фитомасса культур ели, кг/га (ельник черничный В₃, размещение 1,5×0,7, возраст 10 лет; слева — данные за июнь, справа — за сентябрь): 1 — надземная фитомасса; 2 — надземная масса ели; 3 — хвоя; 4 — ветви; 5 — ствол; 6 — всего корни; 7 — корни ели; б — содержание зольных элементов и азота, % на сухое вещество: 1 — хвоя; 2 — ветви; 3 — ствол; 4 — корни.

вой (1969) для сосны. Так, соотношение между надземной и подземной частями у ели на контрольной секции составляет 2,1 на 1-й пробной площади и 1,7 на 2-й, а на секции с люпином соответственно 2,6 и 2,2. У более молодых 8-летних культур это соотношение меньше, чем у 10-летних.

В целом в общей фитомассе ельников в этом возрасте преобладают хвоя и корни (от 26,9 до 37,5%) и меньше всех доля ветвей (13,2—20,5%).

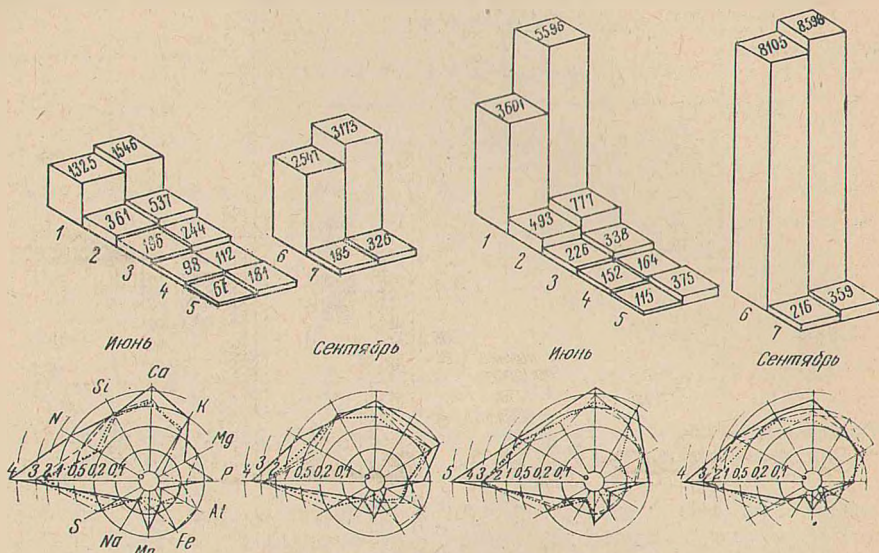


Рис. 2. а — фитомасса культур ели, кг/га (ельник дубово-снытевый Дз, размещение $1,8 \times 1,2$ м, возраст 8 лет, слева — данные за июнь, справа — за сентябрь): 1 — надземная фитомасса; 2 — надземная масса ели; 3 — хвоя; 4 — ветви; 5 — ствол; 6 — корни; 7 — корни ели; б — содержание зольных элементов и азота, % на сухое вещество: 1 — хвоя; 2 — ветви; 3 — ствол; 4 — корни.

Накопление органического вещества в ельниках 8—10-летнего возраста незначительно и зависит от густоты посадки культур. Так, в ельнике черничном фитомасса на контрольной секции составила 9013 кг/га, в том числе надземная часть — 4025 кг/га, в ельнике дубово-снытевом соответственно 4719 и 1546 кг/га. Введение люпина в междурядья культур привело к увеличению фитомассы 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.

На секциях с люпином значительно возросла емкость круговорота органического вещества с увеличением объемных показателей массы годовичного прироста и возврата с опадом.

Истинный прирост фитомассы приходится только на ель, и он также увеличился под влиянием люпина в 1,5 раза в ельнике черничном и в 1,2 раза в ельнике дубово-снытевом.

Общая масса опада 8- и 10-летних культур с люпином превышает опад в приспевающих и спелых насаждениях.

На рис. 1 и 2 приведено содержание азота и зольных элементов по фракциям у ели.

В частях растений на секциях с люпином увеличилось содержание азота, кальция, калия, фосфора, железа, серы; снизилось содержание натрия и алюминия; существенно не различается содержание кремния, магния. Содержание золы у ели и трав увеличилось на секциях с люпином. Больше всего зольных элементов и азота содержится в зеленых частях растений, затем идут корни, ветви и меньше всего их в стволе.

Содержание элементов во всех частях растений можно расположить в следующем убывающем порядке: азот, кремний, кальций, калий, фосфор, магний и натрий.

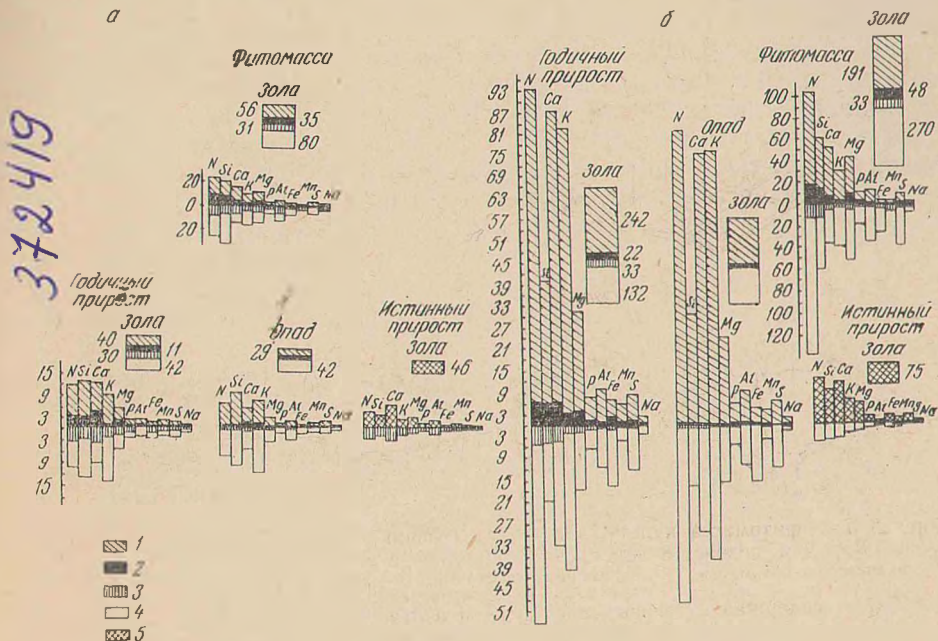


Рис. 3. Содержание элементов питания в фитомассе, годовом приросте, опале и истинном приросте фитоценозов (ельник черничный, возраст 10 лет): а — без люпина, б — с люпином; 1 — зеленые части, 2 — многолетние надземные части, 3 — корни ели, 4 — корни трав и люпина, 5 — истинный прирост.

Вследствие улучшения азотного питания на секциях с люпином во всех частях растений азот преобладает над другими элементами в отличие от контрольных секций. Следует отметить также относительно высокое содержание во всех частях растений кремния и кальция. Это согласуется с данными Н. П. Ремезова и др. (1959).

Содержание элементов питания в частях растений (см. рис. 1 и 2) в оба срока взятия образцов (июнь и сентябрь) оказалось неодинаковым. Так, в сентябре содержание калия, кальция и марганца снизилось, а азота, фосфора и магния увеличилось по сравнению с июнем. В фитомассе еловых культур с люпином содержится намного больше элементов питания, чем в фитомассе культур без люпина. В ельнике дубовоснытевом люпин в большей степени влияет на увеличение содержания азота и зольных элементов в фитомассе. Основная часть прибавок в накоплении элементов питания, безусловно, происходит за счет люпиновой массы, но и в фитомассе ели на секциях с люпином также содержится значительно больше элементов питания. Так, многолетняя надземная часть ели на секциях с люпином содержит азота на пробной

площади 1 в 1,7 раза и на пробной площади 2 в 2,5 раза больше, кремния соответственно в 1,5 и 1,4, кальция — в 1,5 и 1,4, калия — в 1,3 и 1,4, магния — в 1,6 и 1,8, фосфора в 1,4 и 2,0 раза больше; выше содержание и других элементов. Больше элементов питания содержит хвоя и корни ели на секциях с люпином.

Основная часть элементов питания накапливается в корнях ели, люпина и трав. Несколько меньше их содержится в зеленых частях растений (в хвое и надземной части люпина и трав). Ветви и ствол в этом возрасте ели накопили незначительное количество азота и зольных элементов.

В еловом фитоценозе ежегодно извлекается из почвы азота и зольных элементов питания в количестве, обеспечивающем воспроизводство отмершей зеленой части и текущий прирост. Как уже отмечалось, ежегодный прирост органического вещества значительно выше в культурах с люпином. Естественно ожидать и большего потребления элементов питания на построение годичного прироста в елово-люпиновом фитоценозе. Содержание азота и зольных элементов в годичном приросте еловых культур приводится на рис. 3 и 4.

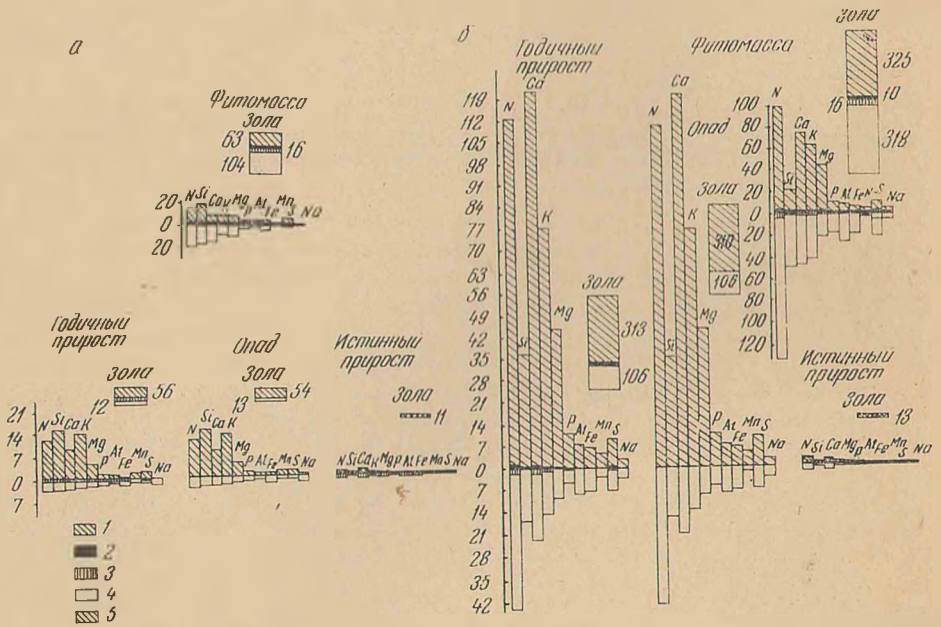


Рис. 4. Содержание элементов питания в фитомассе, годичном приросте, опаде и истинном приросте фитоценозов (ельник дубово-снытевый, возраст 8 лет): а — без люпина, б — с люпином; 1 — зеленые части, 2 — многолетние надземные части, 3 — корни ели, 4 — корни трав и люпина, 5 — истинный прирост.

В наибольших количествах потребляется азот, кальций, калий и кремний, в значительном количестве потребляется магний. На построение годичного прироста фитоценозом потребляется в 8-летних культурах в ельнике дубово-снытевом без люпина азота 15 кг/га и с люпином — 157 кг/га, кремния соответственно 19 и 52, кальция — 12 и 145, калия — 17 и 92, магния — 7 и 54, фосфора — 3 и 17 кг/га; в 10-летних культурах в ельнике черничном потребляется азота соответственно 22 и

148, кремния — 25 и 62, кальция — 22 и 121, калия — 23 и 122, магния — 11 и 49, фосфора — 4 и 14 кг/га.

Большая часть элементов в этом же году поступает обратно в почву с опадом, и лишь незначительная часть их удерживается истинным приростом.

Специальных исследований по учету ежегодного опада и прироста корней многолетних трав и люпина нами не проводилось. Величина опада корней трав и люпина принята равной $1/3$ от общей суммы корней. Обычно такая величина принималась и другими исследователями (Родин, 1968). Годичный прирост корней трав и люпина принят в данном случае равным величине опада, поскольку в этом возрасте культур травяно-кустарниковый покров в некоторой степени стабилен и в последующем по мере смыкания культур ели вытесняется. Истинный прирост фитоценозов поэтому приходится на многолетние надземные части, хвою и корни ели.

С опадом ежегодно возвращается на пробной площади 1 азота 14 кг/га в культурах без люпина и 131 кг/га в культурах с люпином, кремния соответственно 20 и 47, кальция — 12 и 105, калия — 20 и 113, магния — 7 и 41, фосфора — 3 и 11 кг/га; на пробной площади 2 соответственно азота возвращается — 14 и 154, кремния — 18 и 51, кальция — 10 и 141, калия — 16 и 90, магния — 6 и 53, фосфора — 2 и 16 кг/га.

Удержание азота и зольных элементов в истинном приросте также выше в елово-люпиновых культурах по сравнению с контролем.

Из всего изложенного следует, что под влиянием люпина повысилась емкость круговорота элементов питания. При этом в больших масштабах осуществляется круговорот азота, кальция, калия, кремния, магния, фосфора. Возвращаясь с опадом органического вещества в почву, эти и остальные элементы представляют собой легкоусвояемые формы. Их потребление еловым древостоем облегчается. Особенно велика роль люпина в улучшении питания азотом — наиболее дефицитным элементом питания. Кроме того, люпин усваивает ряд элементов питания, находящихся в труднорастворимых соединениях и, вовлекая их в круговорот, способствует переводу этих элементов в более доступные для питания древесных растений соединения (например, фосфор, азот).

Улучшение минерального питания усилило потребление елью азота и зольных элементов. Так, ель в вариантах с люпином потребляет на построение годичного прироста в 1,5—2,0 раза элементов питания больше, чем в вариантах без люпина.

При определении эффективности любого лесохозяйственного мероприятия с точки зрения воздействия его на круговорот трудно обойтись без оценки интенсивности биологического круговорота.

По соотношению основных и оборотных масс, т. е. по соотношению «взято — удержано — возвращено» органического вещества и химических элементов было выявлено большое влияние люпина на масштабы (емкость) биологического круговорота.

Определение интенсивности биологического круговорота производилось по величине опадо-подстилочного коэффициента (Базилевич и Родин, 1964), обозначенного как α . И. И. Смольяниновым (1969) в предложенной им системе показателей к оценке почвенного питания. По этому коэффициенту Н. И. Базилевич и Л. Е. Родин (1964) попытались оценить степень интенсивности биологического круговорота с использованием 10-балльной шкалы. Они определяют 5 типов биологического

круговорота: застойный, сильно заторможенный, заторможенный, интенсивный и весьма интенсивный. Этот коэффициент использовался также И. И. Смольяниновым и др. (1967) для оценки интенсивности круговорота азота и зольных элементов в равнинных лесах Украинской ССР.

В табл. 3 приводятся оценки интенсивности круговорота по массе и в отношении главных элементов питания. Видно, что под влиянием

Таблица 3

Интенсивность биологического круговорота в культурах ели

α	К о н т р о л ь			С л ю п и н н о м		
	соотношение	α	балл	соотношение	α	балл

Пробная площадь 1

α_m	771	1,01	7	3486	0,82	7
	767			4252		
α_N	6,17	0,92	7	51,59	0,64	8
	6,73			81,09		
α_{Si}	6,24	0,66	8	12,90	0,42	8
	9,40			30,75		
α_{Ca}	4,39	0,71	8	48,29	0,64	8
	6,15			75,58		
α_K	2,16	0,29	8	13,60	0,18	8
	7,51			75,86		
α_{Mg}	3,93	1,39	7	19,87	0,79	7
	2,83			25,26		
α_P	0,92	0,81	7	4,88	0,81	7
	1,13			6,01		

Пробная площадь 2

α_m	723	0,66	8	5968	1,18	7
	1099			5052		
α_N	5,49	0,48	8	103,25	0,93	7
	11,34			110,43		
α_{Si}	4,34	0,28	8	16,11	0,43	8
	15,59			35,01		
α_{Ca}	5,45	0,65	8	85,34	0,71	8
	8,43			120,40		
α_K	2,82	0,20	9	18,50	0,24	9
	13,87			76,19		
α_{Mg}	1,74	0,37	8	33,42	0,75	8
	4,70			44,39		
α_P	0,72	0,38	8	8,36	0,78	7
	1,87			10,66		

люпина не изменился тип биологического круговорота. Однако, несмотря на то что скорости высвобождения элементов питания из мертвых растительных остатков, характеризующие опад-подстилочный коэффициент α , в культурах с люпином и без люпина разнятся незначительно, наблюдается определенная тенденция в их изменении. Так, в ельнике черничном коэффициент α меньше в культурах с люпином, т. е. люпин способствует здесь некоторому увеличению скорости разложения органического вещества и высвобождения элементов питания. В то же время

в ельнике дубово-снытевом, в более богатых и несколько более увлажненных условиях местопрорастания в культурах с люпином ухудшились условия разложения растительных остатков и высвобождения элементов питания.

В целом опадо-подстилочные коэффициенты в ельнике черничном несколько выше по сравнению с ельником дубово-снытевым, что, по-видимому, является следствием несколько более высокой влажности почв в ельнике дубово-снытевом.

Проведенные исследования показали также приемлемость опадо-подстилочного коэффициента для оценки интенсивности биологического круговорота в молодых еловых фитоценозах, подвергшихся биологической мелиорации культурой люпина.

В заключение отметим следующее.

Проведенные исследования показали, что биологическая мелиорация молодых еловых фитоценозов междурядной культурой люпина — один из наиболее эффективных приемов воздействия на биологический круговорот веществ. В результате ее 5-летнего влияния значительно возросла емкость биологического круговорота органического вещества, азота и зольных элементов в молодых ельниках без существенного изменения типа круговорота. Это в конечном счете обусловило улучшенный рост ели и повысило биологическую продуктивность фитоценозов. Более повышенный ритм жизненных процессов у ели с люпином дает основание предполагать сохранение этих темпов роста и в последующем.

Л и т е р а т у р а

Базилевич Н. И., Родин Л. Е. 1964. Типы биологического круговорота зольных элементов и азота в основных зонах Северного полушария. В кн.: Генезис, классификация и картография почв СССР. М. Жилкин Б. Д. 1959. *Повышение продуктивности сосновых насаждений с помощью сопутствующей культуры многолетнего люпина. «Вестник с.-х. науки», № 7; 1959. *Повышение продуктивности ельника-черничника путем улучшения круговорота азота и зольных элементов сопутствующей культурой многолетнего люпина. «Науч. докл. высшей школы. Лесоинженерное дело», № 2. Жилкин Б. Д., Рихтер И. Э. 1964. *Повышение продуктивности сосновых насаждений Белоруссии путем улучшения биологического круговорота веществ культурой люпина. В кн.: Повышение продуктивности лесов. Минск. Калинин А. И. 1964. Химизация лесного хозяйства и значение древесного сырья для химической промышленности. «Лесное хозяйство», № 3. Мина В. Н. 1955. Круговорот азота и зольных элементов в дубравах лесостепи. «Почвоведение», № 6. Лахтанова Л. И. 1969. Биологические основы взаимодействия сосны и люпина. Автореф. канд. дисс. Минск. Молчанов А. А. 1961. Круговорот органического вещества в процессе роста сосняка-черничника. Собр. Лаб. лесоведения АН СССР, № 5. Ремезов Н. П., Быкова Л. Н., Смирнова К. М. 1959. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М. Ремезов Н. П., Родин Л. Е., Базилевич Н. И. 1963. Методические указания к изучению биологического круговорота зольных веществ и азота наземных растительных сообществ в основных природных зонах умеренного пояса. Бот. ж., т. 48, № 6. Рихтер И. Э. 1965. Улучшение роста культур ели посевом многолетнего люпина. В кн.: Вопросы лесоведения и лесоводства. Минск. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. 1968. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л. Смольянинов И. И., Рябуха Е. В., Долобовская А. С., Коноваленко В. Г. 1967. К оценке интенсивности биологического круговорота азота и зольных элементов в равнинных лесах УССР (на примере Полесья и северной степи левобережья). «Лесоводство и агролесомелиорация», вып. 10. Киев. Смольянинов И. И., Рябуха Е. В., Угаров В. Н. 1969. О системе показателей к оценке почвенного питания лесных насаждений. В кн.: Тезисы Всесоюзного совещания по вопросам питания древесных растений и повышения продуктивности насаждений. Петрозаводск.