

8. Флуоресцентная диагностика зимнего покоя хвойных в урбоэкосистемах с различным уровнем загрязнения воздушной среды / Н.В. Пахарькова [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2009. – №4. – С. 359–367.

9. *Hinrichsen, D.* Multiple pollutants and forest decline / D. Hinrichsen. – *Ambio*, 1986. – 256 p.

10. *Innes, J.L.* Some problems with the interpretation of international assessments of forests damage / J.L. Innes // 19th World cong. “Sci.Forest. IUFRO’s 2nd Century”, – Monreal, 1990. – P. 380–

387.

11. *Leibundgut, H.* Zum Problem des Tannensterbens / H. Leibundgut – Schweiz. Z. Forstw., 1974. – P. 476–484.

12. *Lichtenthaler H.K.* Chlorophyll and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes / H.K. Lichtenthaler // *Methods. Enzimol.* – 1987. – Vol. 148. – P. 331–382.

13. *Schlaepfer, R.* Kranker Wald: Eine Analyse der Kenntnisse ans der Forschung / R. Schlaepfer. – Schweiz, 1990. – P. 40–46.

SPECIES-SPECIFIC PECULIAR PROPERTIES OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF NEEDLES OF SCOTS PINE (*Pinus sylvestris* L.) AND SIBERIAN SPRUCE (*Picea obovata* Ledeb.)

N.V. Pakharkova, M.A. Filippova, M.A. Subbotin, G.A. Sorokina

Siberian Federal University

It is shown that Siberian spruce, having a lower photosynthetic activity during the summer period compared to Scots pine, is characterized by a longer vegetation period. This is facilitated by a strategy of early blossoming and growth of needles, accompanied by a more rapid formation of the photosynthetic apparatus and the pigment complex, in particular. However, the smaller the depth of winter dormancy makes spruce more vulnerable during winter thaws, and in the presence of climate change may lead to desiccation and death of the needles in the winter period.

Keywords: growth of needles, winter dormancy, pigments, fluorescence, Scots pine, Siberian spruce.

УДК 631.4.634.0.1

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ПРОЦЕССЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ (ЮЖНАЯ ТАЙГА, ЦЕНТРАЛЬНАЯ СИБИРЬ)

И.Н. Безкоровайная^{1,2}, М.Н. Егунова²

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск

² Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Анализ динамики комплексов почвенных беспозвоночных в процессе лесовосстановления в условиях южной тайги Центральной Сибири показал, что формирование лесного сообщества сопровождается постепенным увеличением численности беспозвоночных, формированием подстилочного комплекса и усложнением эколого-трофической структуры.

Ключевые слова: лесные культуры, комплексы почвенных беспозвоночных, микроэдафон, мезоэдафон, эколого-трофическая структура

Введение. В условиях высокой антропогенной нарушенности лесного покрова южной тайги и подтаежной зоны Центральной Сибири весьма актуален поиск

эффективных способов экологической оптимизации ландшафтов [8]. Одним из них является повышение лесистости на нарушенных землях, в том числе за счет

создания на них лесных культур.

Любое экзогенное воздействие на экосистему отражается на каждом из ее компонентов. Почвенная биота, находясь под контролем внешних условий, неизбежно реагирует на происходящие в данный момент времени изменения в почвенной среде. В зависимости от времени, степени и типа воздействия в комплексах почвенных организмов происходят количественные, структурные и функциональные изменения. При исследовании формирования лесных экосистем в связи с особой функциональной ролью почвенных беспозвоночных особое значение имеет анализ динамики их численности и функциональной структуры. По данным многих авторов, структура комплексов беспозвоночных в трансформированных системах относительно проста и представлена в основном наиболее пластичными видами [2, 10, 13]. Механизмом трансформаций в большинстве случаев является изменение гидротермических условий или физико-химических и химических свойств почв, обуславливающих изменение биотических компонентов экосистем. Именно ограниченные адаптационные возможности большинства почвенных беспозвоночных являются причиной модификации их структуры. В связи с этим их реакция на процессы деградации или восстановления нарушенных экосистем на локальном или региональном уровнях является надежным индикатором происходящих не только в почве, но и в экосистеме изменений.

Для изучения внутренних связей в системе «растительность ↔ почва» в 1968 г. в условиях южной тайги (56° с.ш., 92° в.д.) по идее проф. Н.В. Орловского сотрудниками лаборатории лесного почвоведения Института леса и древесины СО АН СССР Л.С. Шугалей и Э.П. Поповой был создан эксперимент с основными лесообразующими породами Сибири – кедром (*Pinus sibirica*), елью (*Picea obovata*), лиственницей (*Larix sibirica*), сосной (*Pinus silvestris*), березой (*Betula fruticosa*) и осиной *Populus tremula*) на старопашотных серых лесных почвах [6]. Многолетний эксперимент, созданный в

одинаковых эдафо-климатических условиях, является идеальным объектом для изучения формирования лесных экосистем разного типа. Он дает возможность выявить роль фитоценоза в организации и функционировании отдельных компонентов лесного сообщества, в том числе и комплексов почвенных беспозвоночных.

Материалы и методы. Исследования динамики комплексов почвенных беспозвоночных проводились в 25- и 30-летних культурах многолетнего эксперимента на старопашотной серой почве. Участок под культурами занимает площадь 1,7 га. Культуры были высажены 2–3-летними саженцами в 1971–1972 гг. на участок, который после раскорчевки вторичного березняка периодически использовался под сельскохозяйственные угодья [6].

В процессе произрастания лесных культур наблюдалась дифференциация напочвенного покрова, обусловленная воздействием древесного полога. Травянистый покров проходил несколько фаз развития. В настоящее время в культурах ярко выражена неоднородность распределения травянистой растительности под пологом. Напочвенный покров в культурах кедра, сосны и частично лиственницы характеризуется как мертвопокровный, в культурах ели – 90 % проективного покрытия приходится на мох.

В данной работе дана характеристика микро- и мезофауны. К микрофауне (размер <2 мм) отнесены панцирные (Oribatei) и гамазовые клещи (Gamasina) и коллемболы (Collembola); к мезофауне (размер >2 мм) – дождевые черви (Lumbricidae), энхитриды (учитывались только особи, извлекаемые при ручной разборке проб) (Enchytraeidae), личинки и имаго членистоногих.

Для учета мезофауны использовали прямые методы, общепринятые в почвенно-зоологических исследованиях: послойный отбор проб с последующей ручной разборкой

с использованием колонки почвенных сит [3]. Под каждой культурой пробы (размер 25x25 см) отбирались в 5-кратной

повторности по слоям: подстилка, 0–5 см, 5–10, 10–20, 20–30, 30–40 см. Пробы для учета почвенных микроартропод (микрофауна) отбирались буром ($d = 5$ см) в подстилке, в 0–5 и 5–10 см минеральном слое почвы в 10-кратной повторности. Выгонка проводилась с помощью эклекторов Тулгрена [5].

В качестве контроля использован близлежащий участок пашни.

Результаты и их обсуждение. Почвенное население серой старопахотной почвы перед посадками культур характеризова-

лось низким уровнем численности и разнообразия как мелких, так и крупных беспозвоночных. Численность *Collembola* составляет 102 экз./м² (рис. 1). Их фауна представлена всего 4 видами, среди них 97 % приходится на долю видов рода *Onychiurus* (табл. 1). Спектр эколого-морфо-логических форм этих насекомых обеднен и специфичен, он представлен только обитателями минеральных горизонтов. Подстилочных и подстилочно-почвенных форм в связи с отсутствием подстилки нет.

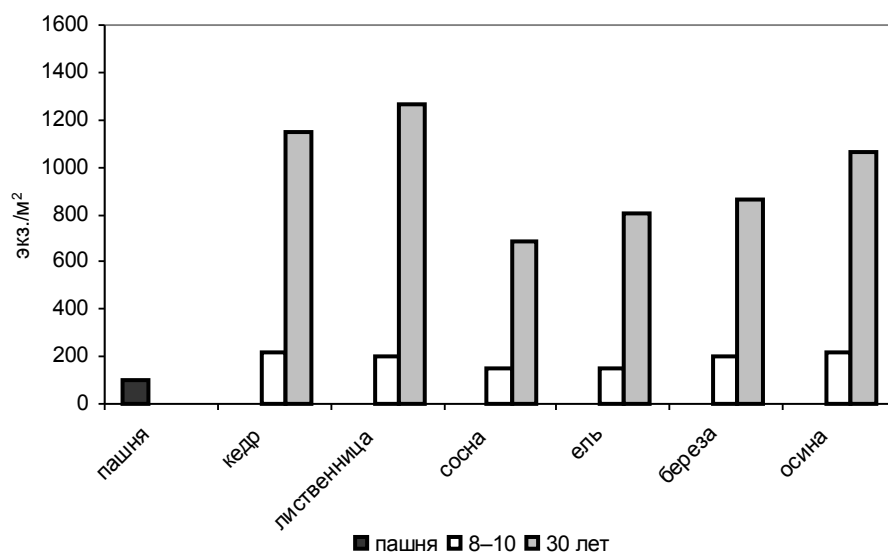


Рис. 1. Численность микроартропод в лесных культурах разных возрастов (в 8–10 летних культурах учтены только *Collembola*)

Таблица 1

Доминирующие группы *Collembola* под лесными культурами разного возраста, %

Виды	Пашня	8–10-летние*						30-летние					
		Кедр	Лиственница	Сосна	Ель	Береза	Осина	Кедр	Лиственница	Сосна	Ель	Береза	Осина
<i>Onychiurus sp.</i>	9,4	10,	51,	31,	20,	38,	41,	4,3	6,0	14,			
<i>O. sp.1</i>	78,	8	0	0	3	5	3	9,0	2,0	3			
<i>O. taimyricus</i>	1	38,	19,	48,	47,	33,	49,	6,7	10,4	44,			
<i>O. subarcticus</i>	0	6	3	1	7	5	5	0	6,0	5			
<i>O. subnemoratus</i>	9,4	3,8	0	0	0	0	0	5,5	2,0	4,2			
<i>Anurida sp.2</i>	0	0	0	3,3	2,6	2,6	3,3	0	0	6,0			
<i>Folsomia quadrioculata</i>	3,1	0	0	0	0	0	0			0			
<i>F. inoculata</i>	0							7	0				
<i>F. taimyrica</i>	0	0	0	8,5	7,8	10,	0	2,6	0	7,8			
<i>Isotoma notabilis</i>	0	2,1	0	0	0	0	0	0	26,8	0			

Lumbricidae	4,8	4,1	2,2	17,	0,9	15,6	10,	16,	9,6	12,	0	15,7	3,9
Enchytraeidae	0	12,	51,	9	38.	40,4	8	7	53,	1	3,6	39,8	66,0
Mollusca	0	1	3	8,0	7	4,4	44,	8,3	9	18,	0	4,8	2,9
Diplopoda	4,8	0	0	0,5	0,5	1,5	5	0	0	2	0	2,7	4,4
Chilopoda	0	1,9	0	0	0	2,2	0,9	0	0	3,0	7,4	4,8	0,5
Aranei	4,8	2,4	1,9	5,4	1,9	1,4	0	8,3	9,7	0	3,6	1,9	1,9
Opiliones	0	1,9	1,9	0,9	1,9	0	2,7	0	1,9	21,	1,9	0	0
Orthoptera	2,3	0	0	0	0	0	5,4	0	0	2	0	0	0
Hemiptera	4,7	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	3,8	4,4	1,9
Coleoptera:		4,7	1,9	0	0		0	0	0	0			
Carabidae	14,3					1,0	0,5			0	3,6	6,7	0
Scarabaeidae	0	1,9	1,9	1,9	5,4	0		0	1,9	0	0	1,9	0
Silphidae	0	0	0	2,2	0	0	2,2	0	0		0	0	0
Staphylinidae	2,4	0	0	0,5	0	3,0	0	0	0	3,0	21,4	1,9	1,9
Elateridae	2,4	5,9	4,0	11,	6,0	3,3	0	16,	1,9	0	10,7	4,4	2,9
Curculionidae	0	5,4	0,5	4	2,7	13,1	8,8	7	13.	0	17,7	3,8	4,4
Chrysomelida	0	2,5	5,1	23,	7,7	0,9	3,9	41,	5	21,	0	1,9	0
e	0	0	2,2	9	0	0	2,4	7	3,8	2	0	0	0
Cantharidae	7,1	0	0	7,0	0,9	1,1	0,7	0	0	6,0	1,3	1,0	0
other	52,4	7,7	3,2	1,3	8,6	2,4	0	0	0	4,4	0	1,9	1,9
Formicidae		0	1,9	0	7,0		2,3	0	0	0			
Diptera (l):	0			5,9		0,9	2,2	0	1,9	0	0	0	0
Muscidae	0	1,9	0,5	7,0	0	5,4		0		4,1	8,8	1,9	0
Tipulidae	0	4,4	2,9		10,	0	0		0	0	0	0	4,7
Bibionidae	0	7,7	6,7	0	0	0	0	0	0		0	0	0
Cecidomyiida	0	13,	1,9	4,0	0	0	5,0	0	1,9	0	0	0	0
e	0	5	5,4	2,2	0	3,4	0	0	0	3,0	3,6	0	2,7
Tendipedidae	0	12,	0	0	5,8	0	0	0	0	1,9	10,7	0	0
Rhagionidae	0	1	0	0	0	0	2,2	8,3	0	0	1,9	0,5	0
Sciaridae		0	3,5	0	0		0	0	0	0			
Other		6,7		0	2,0		3,0	0	0	0			
		3,2		0				0		1,9			
										0			

В процессе произрастания лесных культур происходит дифференциация напочвенного покрова, обусловлена воздействием древесного полога. Эдификаторное влияние древесного полога сказалось, прежде всего, на формировании мозаичности травянистого покрова под различными культурами. К 20-летнему возрасту под пологом сосны, ели и кедра произошло почти полное подавление травянистой растительности и образование мертвого покрова из опада хвои. В культурах ели образовался сплошной моховой покров. Легкие ажурные кроны березы, осины и лиственницы способствуют меньшей вариабельности запасов травянистого

покрова. За 10-летний период (1971–1981 гг.) произрастания лесных культур в них сформировался типичный компонент лесного биогеоценоза – подстилка. Ее формирование под лесными культурами было отмечено в стадии смыкания крон. Для этого периода развития культур характерна малая мощность подстилки, неравномерность ее распределения по площади и большое участие (31–82 %) в составе подстилки остатков травяных растений, запасы которых часто превышали накопления древесного опада [7]. Максимальные запасы подстилки к этому периоду сформировались в культурах березы – 532 г/м², минимальные – в культурах ели – 45 г/м², в остальных

культурах – 123–293 г/м² (табл. 3). Для всех подстилок характерна малая мощность, невысокая влагоемкость, рыхлое сложение и отсутствие стратиграфического разделения на подгоризонты.

В последующие 10 лет в каждом насаждении оформился равномерно

распределенный по поверхности органогенный горизонт с четко выраженной стратиграфией из подгоризонтов L, F и H, а гомогенный пахотный слой (PY-горизонт) стал дифференцированным (O-AУ1-AУ2) [12].

Таблица 3

Формирование подстилки под лесными культурами, г/м²

Культуры	10-летние [7]		25-летние	
	M±m	V, %	M±m	V, %
Кедр	123,38±21,42	42	1164±290	21
Лиственница	292,99±78,85	66	1328±284	19
Сосна	157,75±21,86	34	1293±377	26
Ель	45,17±10,59	57	349±49	18
Береза	531,93±143,70	66	448±139	36
Осина	157,75±57,50	53	662±194	21

К 25-летнему возрасту культур запасы подстилки во всех насаждениях, кроме березы, увеличились в 2–9 раз. Состав подстилок на 90 % представлен в разной степени трансформированным опадом соответствующей древесной породы, и травянистый ярус на этом этапе развития не играет заметной роли в их формировании.

Формирование лесной экологической обстановки под насаждениями детерминирует трансформацию комплексов почвенных беспозвоночных старопашанной серой лесной почвы. Через 8–10 лет после посадки лесных культур изучение качественного и количественного состава педокомплексов беспозвоночных в формирующихся лесных сообществах было проведено сотрудником Института леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР В.К. Дмитриенко [4]. Было показано, что специфика физических, химических и биологических процессов, протекающих под разными древесными культурами, чутко улавливается почвенными беспозвоночными. Наибольшее видовое разнообразие Collembola было отмечено в почвах под культурами ели (27 видов) и березы (25), наименьшее (7) – под культурами осины. Намечающиеся фаунистические различия в заселении почвенных горизонтов под разными

культурами мелкими членистоногими проявляются, прежде всего, на уровне редких видов, субдоминантов и реже доминантов. Доминируют те же виды, что и на пашне – *Onychiurus sp.* и *Onychiurus sp.1*, однако представленность этих видов в исходной почве и под культурами была неодинакова (табл. 1).

Формирование и увеличение запасов подстилки под культурами обусловило возрастание доли подстилочных форм Collembola, однако основу комплекса по-прежнему составляли почвенные виды, на долю которых приходилось от 58 до 94 % общей численности микроартропод (рис. 3).

Численность крупных беспозвоночных под 8–10-летними культурами осины, березы, кедра и лиственницы увеличилась по сравнению с пашней в 2,5–3 раза (рис. 2). Под культурами ели и осины – всего в 1,5 раза. Численность доминирующих групп животных в почвах под разными культурами характеризовалась большой изменчивостью, обусловленной пестротой условий, формирующихся под пологом. Под кедром доминировали Lumbricidae, Carabidae, Staphylinidae, Curculionidae, личинки Tipulidae, муравьи р. Lasius, сосны – Mollusca, Arachnidae, Staphylinidae, Carabidae, ели – муравьи и личинки Tipulidae,

характерные группы доминантов, присущие и почве под другими культурами [4].

Почвообразовательный потенциал беспозвоночных тесно связан с их трофической специализацией. Поступление мертвого растительного вещества на поверхность почвы под лесными культурами обусловило увеличение в трофической структуре доли его потребителей в 3–4 раза (рис. 4). Однако под всеми культурами сохранилось преобладание хищников (51–67 %).

Исследованиями В.К. Дмитриенко [4] было показано, что формирование фауны почвенных беспозвоночных под 8–10-лет-

ними культурами происходит за счет фауны исходного участка – пашни, о чем свидетельствует присутствие общих видов-доминантов. Коэффициент фаунистического сходства составлял под 10-летними культурами от 9 (пашня – кедр) до 38 % (пашня – осина). В то же время древесные породы оказывают избирательное воздействие на формирующиеся лесные педокомплексы. Под каждой культурой имеются виды, встречающиеся только под определенными древесными породами. Наличие таких видов отражает специфику формирующихся комплексов беспозвоночных.

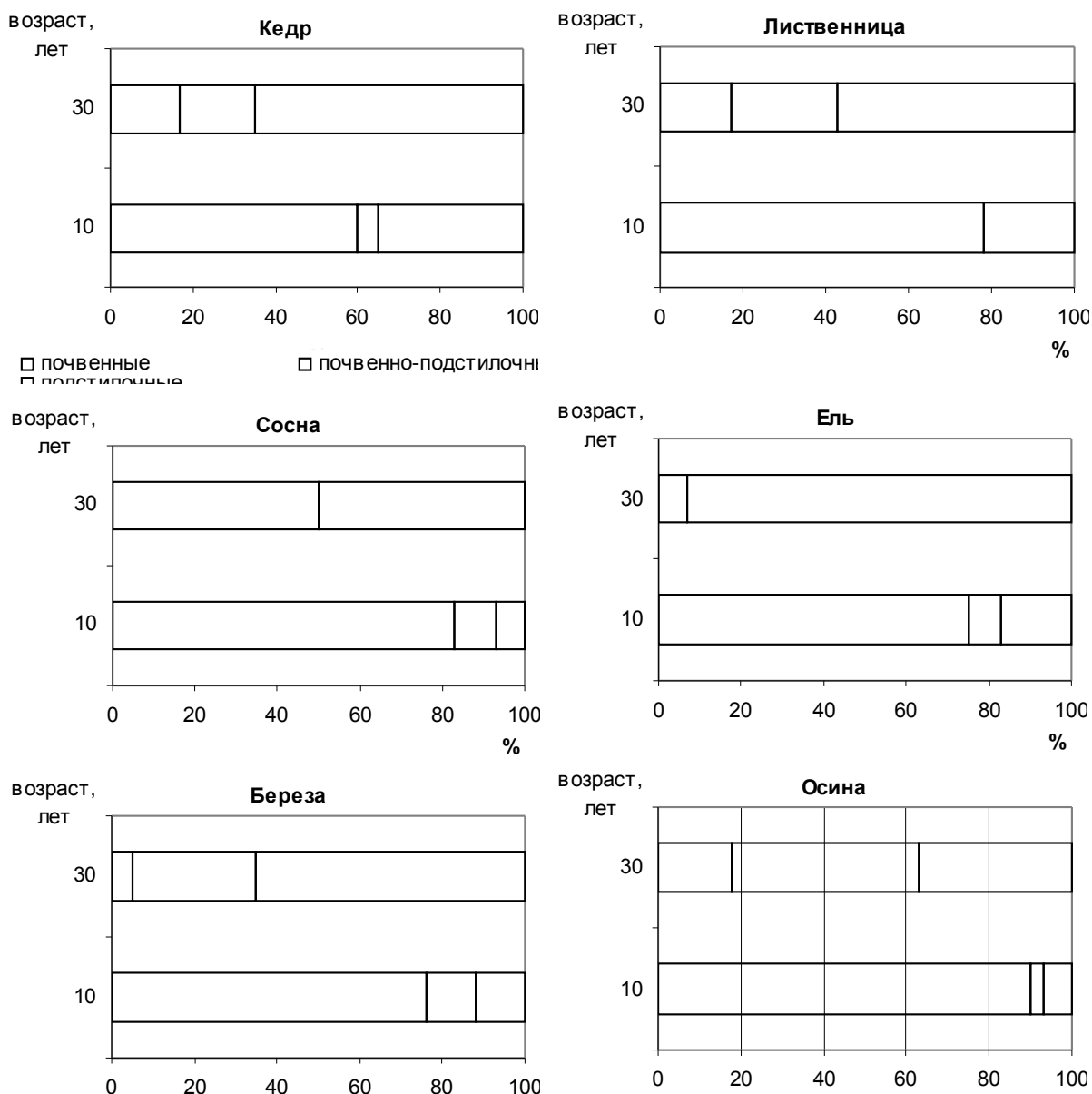


Рис. 3. Соотношение жизненных форм Collembola в культурах разных возрастов

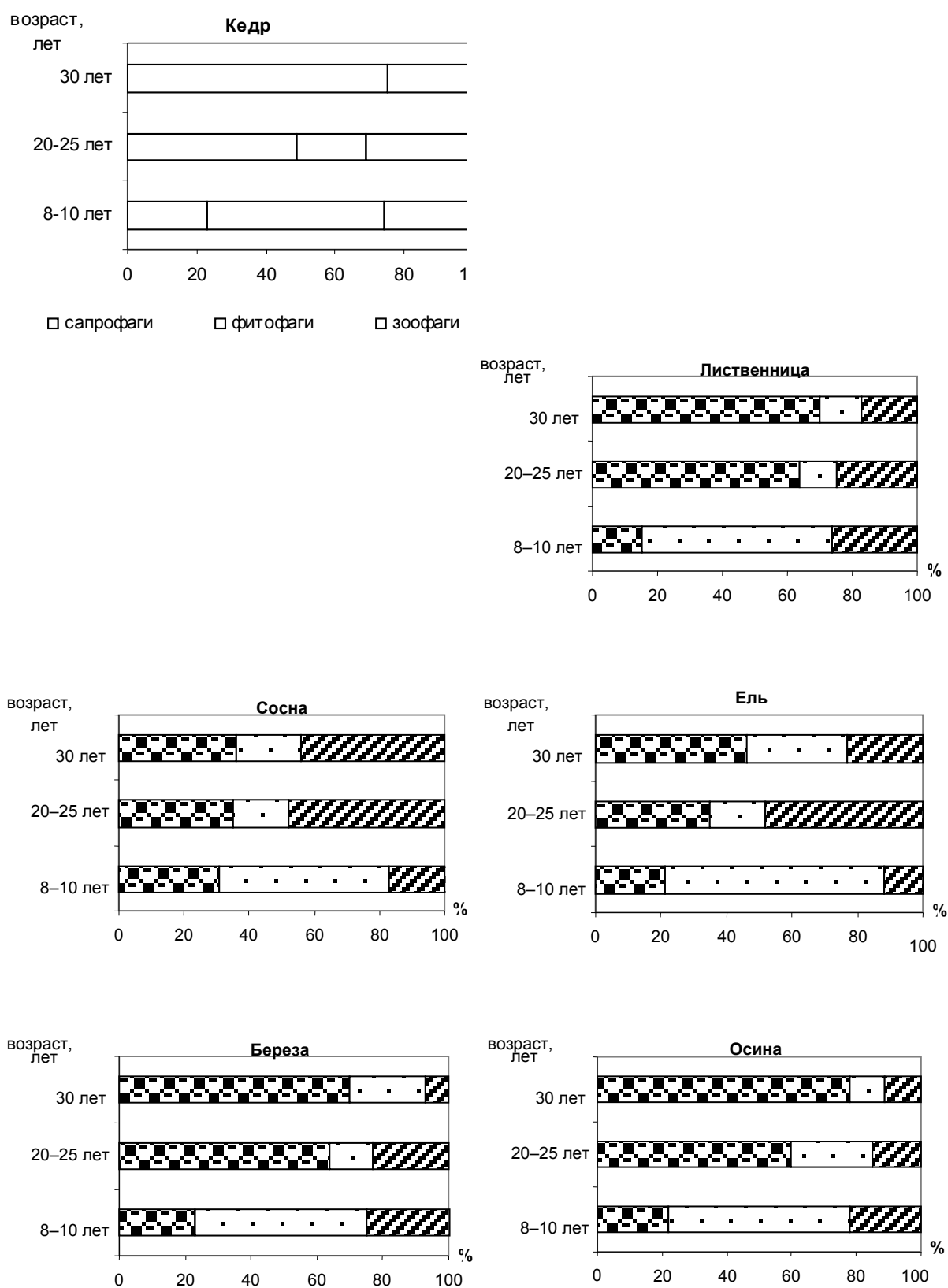


Рис. 4. Трофическая структура комплексов крупных беспозвоночных в культурах разных возрастов

Оценка качественного и количественного состава педокомплексов крупных беспозвоночных под 20–25-летними культурами показала увеличение

численности и разнообразия животных. Наибольшей численностью характеризуется почва под культурами с мягким опадом: лиственницей, березой и осиной – 102–196 экз./м² (рис. 2). Под остальными культурами она близка к пашне и составляет 20–56 экз./м². Основная масса беспозвоночных (~95 %) сосредоточена в аккумулятивном горизонте почвы. Доминируют подстилочнопочвенные и собственно почвенные группы – Lumbricidae, Enchytraeidae, личинки Diptera и Coleoptera (табл. 2).

Накопление растительных остатков на поверхности почвы приводит к значительным изменениям в трофической структуре педокомплексов крупных беспозвоночных – увеличивается доля сапрофагов до 58–64 % в лиственных культурах и лиственнице, до 35–49 % в остальных (рис. 4). В культурах сосны и ели значительную долю составляют фитофаги – 34–48 %.

В почве под 30-летними культурами наблюдается увеличение численности микроартропод более чем в 6 раз по сравнению с первоначальным субстратом – пашней (рис. 1). На долю Collembola приходится от 54 до 76 % от общей численности мелких членистоногих. За истекший период под всеми культурами произошла смена доминантов и субдоминантов (табл. 1). Исключением являются культуры сосны, где, наряду с подстилочными Collembola, основу комплекса продолжают составлять почвенные виды р. Onychiurus, унаследованные от пашни. В целом, под всеми культурами сформировался комплекс подстилочных и подстилочно-почвенных Collembola, что отражает формирование лесной обстановки (рис. 3).

К 30-летнему возрасту культур плотность крупных беспозвоночных составила 82–118 экз./м² под хвойными культурами (исключение составляют культуры кедр, где наблюдается снижение численности до 32) и 221–282 экз./м² под лиственными культурами (рис. 2). Доминируют Lumbricidae, Enchytraeidae под культурами лиственницы, осины и березы, Chilopoda и личинки Elateridae под

культурами кедр, сосны и ели (табл. 2).

Сохраняется доминирование сапрофагов, за исключением культур ели и сосны, где их доля не превышает 33 % (рис. 4). Большое количество хвои в подстилке, отсутствие пригодного корма обуславливают малочисленное присутствие животных – потребителей опада и растительных остатков.

Формирование лесных фитоценозов разного типа выявило специфическое влияние хвойных и лиственных культур на формирующиеся комплексы почвенных беспозвоночных. Это подтверждается достаточно низкими коэффициентами количественного сходства (ККС) сообществ беспозвоночных: между хвойными и лиственными культурами они не превышают 13 %. Близкая экологическая обстановка складывается под культурами березы, осины и лиственницы, и ККС между этими культурами составляет 28–47 %. Между хвойными культурами ККС=22–27 %.

A. Szuiecki [13], анализируя формирование почвенной мезофауны в лесных посадках на вырубках, пришел к выводу, что течение регенерации макрофауны, происходящее после вырубок, фактически включает в себя три периода развития насаждений: создание посадки, стадия смыкания крон и 20–30-летние насаждения. В конце последнего периода лесная фауна, как правило, стабилизируется и остается в таком состоянии с небольшими изменениями в последующий период развития насаждения. Исходя из существенных различий по качественному и количественному составу почвенных беспозвоночных в культурах и естественных лесных экосистемах южной тайги комплексы почвенных беспозвоночных в 30-летних культурах частично сохраняют в себе черты пашни и еще не достигли стадии стабилизации. Скорее всего, при создании лесных культур на старопашотной почве, которая длительное время была вовлечена в сельскохозяйственное пользование, формирование педокомплексов беспозвоночных происходит путем вторичной сукцессии, в то время как в почвах, где беспозвоночные временно

исключаются из привычной экологической обстановки (пожары, рубки и т.п.), это происходит путем естественного возобновления сообществ.

Почвенные беспозвоночные, участвуя в процессах трансформации и минерализации поступающего на поверхность почвы опада, являются важным фактором гумусонакопления в формирующихся лесных сообществах. В культурах березы, лиственницы и осины плотность беспозвоночных на 25–49 % связана с содержанием гумуса в почве, в остальных культурах эта связь не превышает 17 %. Распределение беспозвоночных в профиле почвы под культурами изменяется с глубиной в соответствии с изменением содержания гумуса (табл. 4). Предпочитаемый слой обитания педобионтов является интегральным показателем, суммирующим влияние на беспозвоночных целого ряда характеристик: распределение органического вещества, корневых систем травянистых и древесных растений и микрофлоры по почвенному профилю, гидротермического градиента и др.

Так, в соответствии с изменением содержания гумуса вниз по профилю меняется вертикальное распределение беспозвоночных: основная масса животных сосредоточена в слое почвы 30 см. Наибольшей плотностью характеризуется

слой 0–10 см под культурами кедр, осины, сосны и ели и 0–20 см – под культурами лиственницы и березы. Вниз по профилю меняется соотношение трофических групп крупных беспозвоночных. Основная масса зоофагов (Staphylinidae, Aranei, Carabidae) под всеми культурами сосредоточена в подстилке и на ее границе с минеральным слоем. Под лиственными культурами и лиственницей численность сапрофагов возрастает при переходе от подстилки к верхнему аккумулятивному горизонту, а затем снижается. Для сапрофагов, в частности дождевых червей, характерны постоянные вертикальные миграции в нижние минеральные горизонты почвы. В культурах осины, березы и лиственницы единичные экземпляры червей могут мигрировать на глубину 50 см и ниже. Основная масса фитофагов (Curculionidae, Elateridae) сосредоточена в слое почвы 5–20 см. Вертикальное распределение и миграция жуков-фитофагов зависит от пищевой специализации группы и ее изменений в отдельные периоды жизненного цикла. Кроме того, это может быть связано с пределами ризосферы горизонтально и наклонно ветвящихся мелких и средних корней древесных и травянистых растений. При этом нижняя граница ризосферы может совпадать с нижней границей горизонта обитания педобионтов.

Таблица 4

Вертикальное распределение крупных беспозвоночных, гумуса и гидротермических характеристик в 20–25-летних культурах

Культуры	Глубина, см	Плотность беспозвоночных, экз./м ²	Гумус, %	Температура, °С	Запасы влаги, мм
Кедр	Подстилка	4,0	43,8	12,3	–
	0–10	47,9	5,7	10,7	29,9
	10–20	2,2	5,1	7,8	30,7
	20–30	1,0	3,3	7,5	30,1
Лиственница	Подстилка	13,6	37,9	12,4	–
	0–10	138,7	6,4	9,9	30,3
	10–20	35,6	5,5	9,5	31,3
	20–30	7,0	4,5	8,2	30,5
Сосна	Подстилка	5,1	42,0	11,2	–
	0–10	10,0	3,9	10,6	28,9

	10–20	2,4	3,7	9,5	29,3
	20–30	2,7	3,5	7,4	30,0
Ель	Подстилка	1,3	46,3	12,4	–
	0–10	42,0	4,5	12,2	30,2
	10–20	3,6	3,4	10,6	30,0
	20–30	5,3	3,1	8,3	28,9
Береза	Подстилка	5,3	37,7	14,1	–
	0–10	104,9	3,7	13,4	31,3
	10–20	11,0	3,4	11,9	32,0
	20–30	9,3	2,9	10,2	31,6
Осина	Подстилка	11,0	32,9	12,3	–
	0–10	84,4	5,2	12,2	30,5
	10–20	4,4	4,2	11,1	31,9
	20–30	1,7	3,2	9,9	31,3

Взаимозависимость органического вещества почвы и численности животных проявляется через микропроцессы, протекающие в почве. Микроморфологический анализ шлифов верхних почвенных горизонтов под листовыми культурами выявил повышенное содержание экскрементов крупных беспозвоночных, главным образом гумусированных копролитов червей. Гумификация опада березы и осины происходит достаточно быстро и полно. Повышенное содержание копролитов обуславливает и лучшую микроструктурность верхних горизонтов почвы, особенно под культурами березы. Под культурами лиственницы также отмечено формирование микроструктуры, связанной с деятельностью крупных беспозвоночных: копролиты обогащены темными формами гумуса. В остальных хвойных культурах органический материал слабо переработан животными и содержит небольшое количество биогенных микроагрегатов; в них существенно ниже степень гумусированности микрон, гумус более дисперсный и светлый.

Одним из экологических факторов, определяющих плотность, структуру, трофические связи и деятельность почвенных беспозвоночных, является гидротермический режим почвы. Педобионты представляют собой чуткие показатели того общего режима

температуры и влажности, который складывается в почве. Большое количество экспериментальных работ по изучению термо- и гидропреферендумов разных групп животных позволяет определить диапазон условий их нормального существования. Тесная зависимость педокомплексов беспозвоночных от термического и водного режимов географически обусловлена и четко проявляется при изучении зональных закономерностей изменения структуры почвенного населения [11].

Особый интерес вызывают вопросы, связанные с изучением влияния на комплексы беспозвоночных микроклиматических условий почвы, складывающихся под пологом растительности разного типа, но сформированной в одинаковых эдафоклиматических условиях. Такие исследования указывают на первостепенную роль растительности в формировании экологической обстановки в биогеоценозах.

Анализ гидротермических условий под формирующимися лесными культурами показал, что различия по влагозапасам между культурами в почвенном слое 0–30 см в среднем за вегетационный период не превышают 10 мм [1]. Наибольшие влагозапасы характерны для лиственных насаждений (табл. 4). Выявленные между культурами различия по температуре почвы

обусловлены контрастностью фитоценологических характеристик исследуемых биотопов (густота и плотность, возраст, сомкнутость, запасы надземной фитомассы, напочвенный покров и лесная подстилка), поскольку температурный режим почв под насаждениями является результирующим эффектом тепловых потоков в почву и из нее.

Комплексы беспозвоночных под всеми культурами представлены главным образом подстилочно-почвенными и собственно почвенными формами, основная масса которых (до 95 %) сосредоточена в аккумулятивном горизонте почвы. Такой тип вертикального размещения характерен для серых почв, где формирование верхнего аккумулятивного горизонта происходит через вовлечение педобионтами растительных остатков в минеральную часть почвы и их разложение непосредственно в ней. Снижение вниз по профилю содержания органического вещества на 1,5–2 % и температуры на 2–4 °С, а также некоторое увеличение запасов влаги (ухудшение аэрации) (НВ-ВРК – 36–38 мм) приводит к резкому уменьшению численности животных в исследуемом почвенном слое под всеми культурами. Несмотря на различия в температурном и водном режимах между культурами, значимых коэффициентов корреляции плотности педобионтов с вертикальным градиентом температуры и запасов влаги не найдено – они составляют соответственно 0,25 и 0,15, с содержанием органического вещества – 0,40.

Микроклиматические условия, формирующиеся в лесных сообществах, отличаются высокой динамичностью на поверхности почвы и стабильностью в нижних частях почвенного профиля [9], что обуславливает существенные различия в плотности педокомплексов между культурами в верхнем слое почвы 0–10 см. Под хвойными культурами плотность педобионтов здесь колеблется от 10,0 до 138,7 экз./м², под лиственными – от 84,4 до 104,9 экз./м². В формирующихся лесных биогеоценозах имеет место компенсация факторов, когда, например, негативное

влияние качества хвойной подстилки (высокое содержание танинов, ароматических углеводов, повышенная кислотность и т.д.) компенсируется оптимальным сочетанием температуры (10–12 °С) и запасов влаги (28–30 мм – ВРК-НВ) в 0–10 см почвенном слое. Здесь под хвойными культурами коэффициент корреляции плотности животных с температурой составляет от 0,48 до -0,79, с запасами влаги от 0,34 до 0,66 соответственно. Под лиственными культурами он несколько ниже – с температурой -0,40, запасами влаги – 0,37–0,54. Нижние слои почвы (10–20 см и 20–30 см) исследуемых насаждений характеризуются небольшими различиями по элементам почвенного микроклимата, что и обуславливает здесь незначительные колебания плотности почвенных беспозвоночных: коэффициент r плотности беспозвоночных с температурой под всеми культурами в этих слоях составляет -0,37–(-0,75), с запасами влаги – 0,39–0,68.

Полученные коэффициенты корреляции между плотностью беспозвоночных, запасами влаги и температурой почвы показывают, что разница в гидротермическом режиме почвы под разными культурами не обуславливает различий формирующихся в них педокомплексов животных. В то же время сезонные колебания температуры и влажности почвы обуславливают динамику беспозвоночных в течение вегетационного периода. Так, у почвенных сапрофагов и некоторых хищников периоды активности связаны с сезонами наиболее благоприятных сочетаний тепла и влаги в почве – весной и осенью. Активность фитофагов нарастает по мере развития растительности, и пик их плотности приходится на вторую и третью декады июля. Сравнительно ускоренное прогревание подстилки и верхних горизонтов под культурами осины, березы и лиственницы способствует более раннему началу биологической активности в этих культурах. Уже в первой декаде мая в них отмечается оживление крупных беспозвоночных, в то время как под культурами сосны, кедра и ели активизация педобионтов приходится на конец мая.

Заключение. Таким образом, формирование культур кедр, лиственницы, осины, сосны, березы и ели на старопахотной серой почве приводит к формированию специфических комплексов почвенных беспозвоночных. Эдификаторная роль древесных пород в формировании почвенной среды проявляется в изменении значимости экологических факторов для формирующихся комплексов беспозвоночных в зависимости от культур.

Анализ структурно-функциональной организации почвенных беспозвоночных в лесных культурах показал, что в 30-летних культурах они имеют черты, унаследованные от пашни, что свидетельствует о формировании комплексов почвенных беспозвоночных за счет коренных обитателей. Основными факторами, контролирующими эти процессы, являются лесная подстилка (ее запасы, мощность, качественный состав) и влажность почвы.

1. *Безкоровайная, И.Н.* Влияние гидротермических условий почвы на комплексы беспозвоночных в хвойных и лиственных культурах / И.Н. Безкоровайная, Г.И. Яшихин // Экология. – 2003. – №1. – С. 56–62.

2. *Бессолицина, Е.П.* Ландшафтно-экологический анализ структуры зооценозов почв юга Сибири / Е.П. Бессолицина. – Иркутск : Изд-во Института географии СО РАН, 2001. – 166 с.

3. *Гиляров, М.С.* Учет крупных беспозвоночных (мезофауна) / М.С. Гиляров // Количественные методы в почвенной зоологии. – М. : Наука, 1997. – С. 9–26.

4. *Дмитриенко, В.К.* Формирование комп-

лексов микро- и мезофауны под древесными культурами / В.К. Дмитриенко // Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов. – Новосибирск : Наука, 1984. – С. 117–119.

5. *Дунгер, В.* Учет микроартропод (микрофауна) / В. Дунгер // Количественные методы в почвенной зоологии. – М. : Наука, 1997. – С. 26–51.

6. Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов / под ред. Н.В. Орловского. – Новосибирск : Наука, 1984. – 150 с.

7. *Шугалей, Л.С.* Взаимодействие леса и почвы / Л.С. Шугалей // Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов. – Новосибирск : Наука, 1984. – С. 9–23.

8. *Шугалей, Л.С.* Биологическая рекультивация нарушенных земель КАТЭКа / Л.С. Шугалей, Г.И. Яшихин, В.К. Дмитриенко. – Красноярск : Изд-во Красноярского ун-та, 1996. – 186 с.

9. *Яшихин Г.И.* Гидротермический режим серых лесных почв / Г.И. Яшихин. – Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1991. – 165 с.

10. *Barros E.* Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon / E. Barros, M. Grimaldi, M. Sarrazin // Applied Soil Ecology. – 2004. – №26. – P. 157–168.

11. *Lavelle P.* Soil Ecology / P. Lavelle, A. Spain. – Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2001. – 654 p.

12. *Schugalei L.S.* The Siberian afforestation experiment: history, methodology, and problems / L.S. Schugalei // D. Binkley and O. Menyailo (eds.), Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change, 2005. – P. 257–268.

13. *Szuiecki A.* Comparison of macrofauna of afforested field with that of forest soil / A. Szuiecki // The process of forest soil macrofauna formation after afforestation of farmland. – Warsaw Agricultural University Press, 1983. – P. 116–122.

SOIL INVERTEBRATE COMPLEXES IN REFORESTATION (SOUTHERN TAIGA, CENTRAL SIBERIA)

I.N. Bezkorovaynaya^{1,2}, M.N. Egunova²

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk

² Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

Analysis of the dynamics of soil invertebrate complexes in the reforestation process in the southern taiga of central Siberia has shown that the formation of community forest accompanied by a gradual increase in the number of invertebrates, the formation of litter and more complicated set of ecological and trophic structure.

Keywords: forest plantations, complexes of soil invertebrates, microedaphon, mezoedaphon, ecological trophic structure