УДК 574.42:630*182.21(574.472)+631.4

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА

И. Н. Безкоровайная[1], О. М. Шабалина[1], Л. С. Шугалей[2]

[1] *Сибирский федеральный университет*
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

[2] *Красноярский государственный аграрный университет*
660049, Красноярск, пр. Мира, 90

E-mail: ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru,oshabalina@sfu-kras.ru, ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru

Поступила в редакцию 14.03.2024 г.

Рассмотрено взаимодействие основных лесообразующих пород Сибири: ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), березы кустарниковой (*Betula fruticosa* Pall.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и сосны сибирской кедровой (кедра) (*Pinus sibirica* Du Tour) с агросерой почвой. Исследования проводились в специальном многолетнем эксперименте с лесными культурами, заложенном по инициативе проф. Н. В. Орловского в 1968–1969 гг. в южной тайге на территории Кемчугской возвышенности. Выявлено, что биологические особенности и сукцессионное положение древесных пород существенно влияют на все компоненты фитоценоза. Через 45 лет наиболее резкие изменения зафиксированы под пологом раннесукцессионных хвойных (лиственница) и мелколиственных (берёза и осина) пород, тогда как позднесукцессионные породы – ель и кедр – на данном этапе существенно ограничивают развитие подчиненных ярусов. Почвенный профиль в условиях эксперимента формируется вследствие дифференциации пахотного субстрата почвообразующей породы на генетические горизонты. Влияние лесного полога на плантажированную агросерую почву происходит постепенно и усиливается по мере роста и развития культур, образования подстилочного горизонта и охватывает все свойства почвы. Активным современным почвообразованием затронут минеральный слой почвы 0–10 (13) см. Главным фактором образования почвенного профиля являются вертикальные потоки вещества и энергии, поступающие в почву в процессе нарастающей емкости и интенсивности биологического круговорота. Отмечено, что почвы под культурами в условиях многолетнего эксперимента развиваются по зональному типу.

Ключевые слова: *серая плантажированная почва, древесные породы, древостой, подрост, подлесок, живой напочвенный покров.*

DOI: 10.15372/SJFS20240308

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени в почвенной и биогеоценотической литературе накоплена обширная информация о взаимосвязи и взаимообусловленности лесообразовательного и почвообразовательного процессов. Отсутствие синхронности в развитии лесо- и почвообразования, многократная смена древостоев за период развития почвы усложняют результат этого взаимодействия и взаимовлияния (Шугалей, 1984; Карпачевский, Строганова, 1989; Зонн, 1993; Binkley, Giardina, 1998; Binkley, Fisher, 2013; Mueller et al., 2015; Pretzsch et al., 2019). Вычленить влияние отдельных древесных видов на почвообразование в естественных условиях не представляется возможным из-за очень сильной пестроты почвенного покрова в лесных бигеоценозах, обусловленной разнообразием древостоев, парцелярной структурой травяно-кустарничкового яруса, его сукцессионной сменой. Многократная и несинхронная смена лесообразовательных

© Безкоровайная И. Н., Шабалина О. М., Шугалей Л. С., 2024

и почвообразовательных процессов ведет к изменению других факторов и накладывает влияние на свойства и режимы почв. Прежде всего, изменяются свойства, определяемые как «почва-момент», «почва-память» остается неизменной (Таргульян, Соколов, 1973; Александровский, 2008).

Изучение процессов взаимодействия и взаимовлияния почвы и растительности требует длительного наблюдения. Многочисленные исследования показали, что это возможно только в специальном эксперименте.

В 1968 г. по предложению заведующего лабораторией лесного почвоведения Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО РАН СССР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Н. В. Орловского на территории южной тайги Средней Сибири (56° с. ш., 92° в. д.) был заложен многолетний эксперимент с целью изучения развития искусственных лесных биогеоценозов и внутренних связей в системе «растительность – почва» (Моделирование…, 1984). Территория эксперимента расположена на обширной древней террасе р. Кача Кемчугской возвышенности. По биоклиматическому районированию она относится к холодно-умеренному поясу, отличается значительной степенью континентальности (58–59 %), хорошей влагообеспеченностью и недостаточным количеством тепла (Моделирование…, 1984; Яшихин, 1991). Почвенный покров территории представлен серой почвой, развитой на плотной коричнево-бурой глине.

Многолетний эксперимент представляет собой окультуренный участок старопахотной серой почвы площадью 1.7 га, на который после предварительного плантажа было высажено шесть основных пород Сибири: ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), береза кустарниковая (*Betula fruticosa* Pall.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) и сосна сибирская кедровая (кедр сибирский) (*Pinus sibirica* Du Tour). Перед посадкой на участке с целью выравнивания мощности гумусового слоя гумусовый горизонт был снят и складирован в бурты на территории участка, минеральная толща рыхлилась до 70 см, затем на нее равномерно раскладывался гумусовый слой. Культуры были высажены в 1971–1972 гг. 2–3-летними саженцами (Моделирование…, 1984). Посадка всех культур была загущена с намерением ускорить процесс смыкания крон и быстрее получить их влияние на почву. Плотность посадки составляла 40 тыс. шт./га. В первые годы произрастания культур на опытном участке регулярно проводились прополки, и культуры почти постоянно находились в состоянии пара. В стадии смыкания крон прополки прекратились. В 1986–1987 гг. были проведены рубки ухода, убран снеголом и поврежденные деревья.

Уникальность данного эксперимента заключается в том, что при физическом моделировании процессов взаимодействия основных лесообразующих пород и почвы такие экологические факторы, как рельеф, климат, материнские породы и почва – одинаковы, а древесные породы – разные. Это сводит к минимуму воздействие внешних факторов, и все различия в почвенной системе, проявляющиеся в процессе произрастания культур, обусловлены, прежде всего, влиянием древесного полога разного породного состава.

Перед посадкой культур были изучены основные физические, физико-химические, химические и биохимические свойства почвы экспериментального участка и естественных древостоев, прилегающих к нему. Длительное сельскохозяйственное использование участка (сенокос, выращивание картофеля) привело к уничтожению подстилки и формированию гомогенизированного агрогенного горизонта из гор. AY1, AY2 и верхней части гор. AEL. Несмотря на это, агросерые почвы сохранили литогенные и палеонтологические признаки дифференциации профиля по элювиально-иллювиальному типу: иллювиирование ила, гумуса, сегрегации органно-минеральных соединений в орштейны (Shugalei, 2005; Шугалей, Ведрова, 2014).

В дальнейшем в культурах проводились наблюдения за формированием лесных биогеоценозов и их отдельных компонентов. Особое внимание уделялось процессам, определяющим продуктивность лесных экосистем и лесное почвообразование – гидротермическому режиму, биологической активности и питательному режиму почвы, скорости восстановления морфологического профиля лесной почвы под различными древесными породами, биологическому круговороту вещества под лесными культурами (Моделирование…, 1984; Яшихин, 1991; Ведрова, 1995; Безкоровайная и др., 1997, 2017; Shugalei, 2005; Ведрова, Решетникова, 2014; Bezkorovaynaya et al., 2017).

Цель данной статьи – оценить изменения основных компонентов фитоценоза в условиях многолетнего эксперимента и выявить особенности влияния разных древесных видов на агросерую почву.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морфологическое описание и индикация плантажированной агросерой почвы многолетнего эксперимента выполнено по Классификации и диагностике почв России 2004 г. (Шишов и др., 2004).

Отбор почвенных проб, пробоподготовку и определение основных свойств почвы проводили общепринятыми в почвоведении методами (Аринушкина, 1970; Роуэлл, 1998) и в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 (2018) и ГОСТ 17.4.4.02-2017 (2018).

Для сравнительного анализа произошедших в плантажированной агросерой почве изменений использована серая почва 40-летнего березняка и агросерая почва, которые при закладке многолетнего эксперимента служили контролем (Моделирование…, 1984).

Для характеристики древостоя в каждой культуре закладывались площадки размером 100 м^2, на которых проводился сплошной перечет древостоя. Формула древостоя рассчитывалась по абсолютной полноте. Одновременно выполнялись стандартные геоботанические описания подлеска и живого напочвенного покрова, с указанием общего проективного покрытия и покрытия каждого вида (Методы…, 2002).

Характеристика подроста и подлеска проводилась на учетных профилях 2 × 20 м, заложенных в пределах каждой культуры. Учетные профили разбивались на площадки 2 × 2 м, и на каждой проводился сплошной перечет подроста. К подросту относили растения высотой менее 2 м (Методы…, 2002). Выделялись следующие категории подроста по жизненному состоянию (в баллах): 1 – жизнеспособные, 2 – ослабленные, 3 – мертвые.

Сравнение сообществ по флористическому составу выполнено с использованием коэффициента Жаккара.

Статистическая обработка проводилась с помощью функций пакета анализа Microsoft Excel. Достоверность различий между средними значениями определялась с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенный покров природных биогеоценозов, примыкающих к участку, представлен темно-серыми легкоглинистыми почвами, сформировавшимися на коричнево-бурых глинах. Коричнево-бурые глины являются основной почвообразующей породой Кемчугской возвышенности. Естественные темно-серые почвы имеют элювиально-иллювиальный четко дифференцированный профиль: О–А–Y–AEL–BEL–(BT)–C.

На плантажированной агросерой почве экспериментального участка было создано техногенное поверхностное образование (ТПО) из смеси пахотного слоя, нанесенного на взрыхленный и частично перемешанный субстрат верхней толщи иллювиального горизонта. Первичный профиль почвы экспериментального участка имел следующий морфологический облик: ТПО1–ТПО2–BT–C (Shugalei, 2005).

Влияние лесного полога на плантажированную агросерую почву в условиях многолетнего эксперимента происходит постепенно и усиливается по мере роста и развития культур, образования подстилочного горизонта и охватывает все свойства почвы.

Лесные культуры, развивающиеся в одинаковых почвенно-экологических условиях на исходно однородном почвенном субстрате, не изменили тип водного режима. Оставаясь периодически промывным, он характеризуется изменением статей прихода и расхода влаги атмосферных осадков и почвенной толщи на эвапотранспирацию (Shugalei, 2005). Температурный режим формирующейся почвы под культурами изменяется в сторону выравнивания температурного поля «окно-крона». Отмеченные изменения обусловлены сомкнутостью древесного полога.

Древостой. Как известно, древесные породы можно подразделить на ранне- и позднесукцессионные (Сохранение…, 2002). Светолюбивые раннесукцессионные (пионерные) виды деревьев доминируют на ранних стадиях сукцессии после сильных и средних нарушений, формируя производные насаждения. При нормальном протекании сукцессионного процесса (отсутствие периодических нарушений, постоянный приток семян видов следующей стадии сукцессии) раннесукцессионные виды не возобновляются под собственным пологом, и в течение жизни одного поколения древостоя производные сообщества сменяются коренными, устойчиво

Рис. 1. Внешний вид 45-летних культур многолетнего эксперимента.
а – кедр; *б* – ель; *в* – сосна; *г* – осина; *д* – лиственница; *е* – береза (фото *Ю. Н. Баранчикова* (*а*) и *О. М. Шабалиной* (*б–е*)).

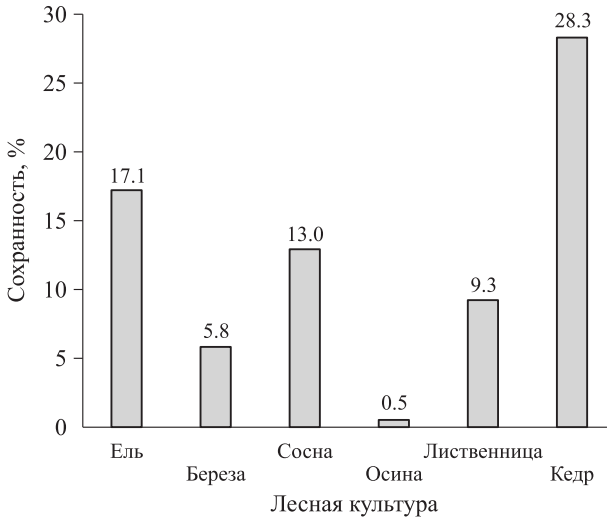

Рис. 2. Сохранность основной породы в лесных культурах многолетнего эксперимента к 45-летнему возрасту.

существующими при данных условиях произрастания и сформированными позднесукцессионными видами. Позднесукцессионные древесные породы теневыносливы и способны возобновляться под собственным пологом в течение многих поколений. К позднесукцессионным породам на участке многолетнего опыта относятся ель и кедр, к раннесукцессионным – береза, сосна, осина и лиственница (рис. 1).

Как уже упоминалось, при закладке эксперимента плотность посадки составляла 40 тыс. шт./га. К 45-летнему возрасту сохранность лесных культур многолетнего эксперимента резко различалась (рис. 2).

Максимальная сохранность характерна для культур кедра – 28.3 % от исходной густоты, далее в порядке убывания ель, сосна, лиственница, береза кустарниковая, осина.

Изменились также состав древостоев и их густота (табл. 1). Чистые древостои сформировали хвойные породы – ель, сосна, лиственница

Таблица 1. Основные таксационные характеристики древостоев многолетнего эксперимента к 45-летнему возрасту

Лесная культура	Формула древостоя	Состав	Густота, тыс. шт./га	*D*, см	*H*, м
Ель	10Е	Е	6.8	11.3 ± 0.12	13.9 ± 0.72
Береза кустарниковая	7Бп2С0.5Бк0.5Е ед. Р	Бк	2.3	5.3 ± 0.48	–
		Бп	3.4	13.2 ± 0.97	–
		Е	7.1	2.9 ± 0.13	–
		С	8.7	2.9 ± 0.31	–
Сосна	10С	С	5.2	13.9 ± 0.78	13.3 ± 0.25
Осина	10Ос + С, Е	Ос	2.0	14.7 ± 0.82	12.5 ± 0.49
		С	1.3	2.1 ± 0.31	–
		Е	0.2	1.3 ± 0.32	–
Лиственница	10Л ед. Р	Л	3.7	15.6 ± 0.95	16.7 ± 0.36
Кедр	10К	К	11.3	9.9 ± 0.22	12.7 ± 0.34

Примечание. Е – ель сибирская; Бк – береза кустарниковая; Бп – б. повислая (*Betula pendula* Roth); С – сосна обыкновенная; Ос – осина обыкновенная; Л – лиственница сибирская; К – кедр сибирский; Р – рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.).

и кедр. В культурах осины имеются существенная примесь сосны, а также единичные особи ели, однако это молодые особи небольшого диаметра, которые не выходят в первый ярус. Наибольшим изменениям подвергся состав древостоя культур березы. Особенностью березовых культур многолетнего эксперимента является распад материнского полога. Береза кустарниковая, которую использовали для создания лесных культур, не является аборигенным видом, ее естественный ареал лежит существенно севернее и восточнее (Флора…, 1992).

В результате к 45-летнему возрасту береза кустарниковая в составе культур березы не играла существенной роли, уступая по густоте березе повислой, сформировавшей верхний ярус, а также сосне и ели.

Среди всех древесных пород многолетнего эксперимента наиболее интенсивно росла лиственница, у которой отмечены максимальные показатели средней высоты и диаметра (табл. 1). Самые низкие показатели у кедра. Следует отметить, что у светолюбивых пород – сосны, березы повислой, осины обыкновенной и лиственницы – средний диаметр выше, чем у теневыносливых ели и кедра. Наблюдается тесная отрицательная корреляция ($R = –0.83$) между средним диаметром основной породы и ее сохранностью.

Таким образом, в культурах ели и кедра, где процессы самоизреживания пока достаточно слабо выражены, отмечаются наименьшие значения среднего диаметра.

Подрост. В насаждениях многолетнего эксперимента представлен подрост следующих лесообразующих пород: ель сибирская, берёза повислая, сосна обыкновенная, кедр, осина, пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) (табл. 2).

Ель встречается под собственным пологом в виде подроста и всходов. Однако густота подроста очень маленькая (0.5 тыс. шт./га), да и подрост был отмечен только по краю, где условия освещенности намного лучше, чем в глубине насаждения. Подрост ослаблен в связи с воздействием на него материнского древостоя, среднее жизненное состояние составляет 2 балла. Густота всходов высокая – 12 тыс. шт./га. Зафиксированы всходы сосны густотой 2.8 тыс. шт./га, однако подрост отсутствует, что неудивительно, учитывая высокое светолюбие сосны. Березовый подрост был представлен только мертвыми экземплярами.

Береза кустарниковая, которая была использована для создания лесных культур, как уже отмечалось выше, не типичная для нашего региона лесообразующая порода, поэтому в настоящий момент ее древостой находится в расстроенном состоянии, большинство деревьев усохло, подрост отсутствует. Однако благоприятный световой режим, присущий березовым культурам, позволяет развиваться здесь подросту хвойных пород. Густота подроста ели составила 22.3 тыс. шт./га. Хорошо себя чувствует под пологом березовых культур и подрост кедра, густота которого составила 8.75 тыс. шт./га. Подрост ели и кедра характеризуется достаточно хорошим жизненным состоянием, оно варьирует в пределах 1.2–1.3 балла. В указанный период процесс внедрения темнохвойных видов

Таблица 2. Густота и жизненное состояние подроста в лесных культурах многолетнего эксперимента к 45-летнему возрасту

Лесная культура	Состав подроста и всходов	Густота подроста, тыс. шт./га	Средний балл жизненного состояния	Густота всходов, тыс. шт./га
Ель	Е	0.50	2.0	12.0
	С	–	–	2.8
Береза кустарниковая	Е	22.30	1.2	14.3
	С	0.25	2.0	–
	К	8.75	1.2	4.0
Сосна	Е	1.25	1.0	14.0
	С	–	–	15.3
	К	–	–	1.0
Осина	Е	0.75	1.0	–
	С	1.50	2.0	1.8
	К	8.75	1.2	3.0
	Ос	0.75	2.0	–
Лиственница	Е	1.50	1.3	0.8
	Б	0.50	1.0	–
	К	2.00	1.0	8.8
	Ос	1.50	1.8	–
	П	0.50	1.0	–

под полог берёзовых культур продолжается, на что указывает большое количество всходов ели (14.3 тыс. шт./га) и кедра (4.0 тыс. шт./га). Подрост сосны представлен единичными растениями, его количество не превышает 0.25 тыс. шт./га. Жизненное состояние ослабленное – 2 балла.

Крона сосны отличается ажурностью и дает мало тени, что благоприятно сказывается на подпологовой растительности. Однако сосна относится к ценотически слабым и светолюбивым растениям, которые с трудом выдерживают конкуренцию с густым материнским пологом, а также подлеском и напочвенным покровом (Санников, 1961; Хатмуллин и др., 2009; Малиновских, 2017). Поэтому, несмотря на наличие большого количества всходов сосны (15.3 тыс. шт./га), не обнаружено ни одного экземпляра ее подроста. В культурах сосны он представлен елью, которая, как правило, хорошо возобновляется под пологом сосны (Николаев, Румянцев, 2004; Рубцов и др., 2014). Однако в настоящее время смена сосны на ель в рассматриваемых лесных культурах протекает слабо. Несмотря на массовое появление всходов ели (табл. 2), ее подрост под пологом культур сосны немногочисленен, что, по-видимому, объясняется недостаточной изреженностью соснового полога (Рубцов и др., 2014). Однако по мере усиления процессов самоизреживания в культурах сосны следует ожидать и более активного естественного возобновления ели.

Породный состав подроста в культурах осины разнообразен и представлен елью, сосной, кедром и осиной. Подрост осины вегетативного происхождения характеризуется низкой численностью и ослабленностью (табл. 2). Подрост сосны более обилен, но также ослаблен. Лучше себя чувствует молодое поколение темнохвойных пород. Густота подроста ели невелика (0.75 тыс. шт./га), но подрост здоровый, средний балл жизненного состояния равняется 1.0. Большое количество подроста и всходов кедра (8.75 тыс. и 3 тыс. шт./га соответственно) связано, по-видимому, с особенностями разноса семян, поскольку кедр является синзоохорной породой.

Породный состав подроста в культурах лиственницы наиболее разнообразен и представлен следующими видами: ель, береза повислая, кедр, осина, пихта сибирская. При этом количественное распределение подроста разных пород под пологом лиственницы более равномерное, чем в других культурах. Преобладает подрост темнохвойных видов – ели и кедра (1.5 тыс. и 2.0 тыс. шт./га соответственно). Подрост всех пород, за исключением осины, характеризуется высокой жизненностью. Только в культурах лиственницы обнаружен подрост пихты, кото-

рая не входила в состав насаждения многолетнего эксперимента, но широко представлена в окрестностях, где образует сомкнутые насаждения. Характерно отсутствие подроста и всходов лиственницы не только под пологом лиственничных культур, но и в других лесных культурах многолетнего эксперимента. Это отражает низкую конкурентоспособность лиственницы, которая в условиях потепления климата в этой части ареала активно вытесняется темнохвойными видами из ранее занимаемых ею местообитаний, что, в частности, зафиксировано на территории национального парка «Красноярские Столбы» (Шушпанов, Кузьмичев, 2013).

В культурах кедра естественное возобновление отсутствует, что связано как с сильными эдификаторными свойствами кедра, так и с загущенностью насаждения. Кедр отличается долголетием и относится к медленно растущим породам, поэтому в настоящее время самоизреживания, достаточного для естественного возобновления древесных пород, не произошло.

Подлесок и живой напочвенный покров. Под пологом лесных культур многолетнего эксперимента встречено 10 видов подлесочных пород – рябина сибирская, смородина красная (*Ribes rubrum* L.), черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.), шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.), калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.), боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.), малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.), спирея средняя (*Spiraea media* Schmidt), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), свидина белая (*Swida alba* (L.) Opiz). Чаще всего встречаются рябина и черемуха (табл. 3).

Эти аборигенные виды достаточно морозостойки, выносливы, не боятся затенения и могут произрастать в широком диапазоне экологических условий.

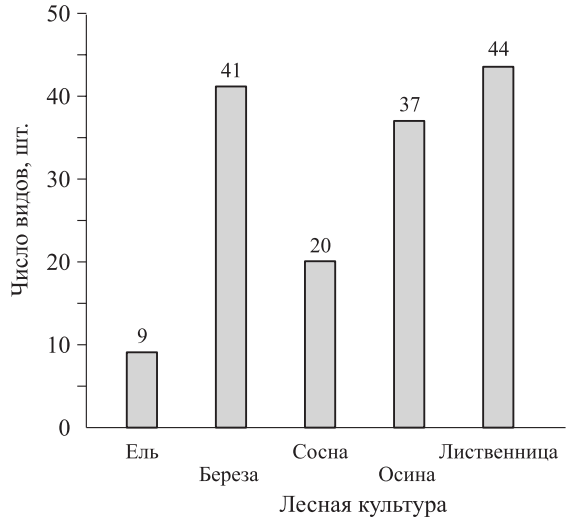

Рис. 3. Видовое богатство живого напочвенного покрова в лесных культурах многолетнего эксперимента к 45-летнему возрасту.

Как видно из табл. 3, подлесок в лесных культурах многолетнего эксперимента хорошо развит только под пологом листопадных пород – березы, осины и лиственницы. В культурах хвойных пород он либо полностью отсутствует (культуры кедра), либо развит крайне слабо (культуры ели и сосны).

Видовое флористическое богатство живого напочвенного покрова в лесных культурах многолетнего эксперимента резко различается (рис. 3).

Культуры кедра мертвопокровные. Небольшим флористическим богатством отличаются культуры ели и сосны.

Как и следовало ожидать, наибольшее число видов обнаружено под пологом березы, осины и лиственницы с их благоприятным световым режимом и условиями увлажнения. Здесь сформирован полноценный разнотравный травяной ярус с примесью лесного мелкотравья.

Представители мхов обнаружены в культурах ели, березы, сосны и лиственницы, это

Таблица 3. Густота древесно-кустарниковых пород подлеска в лесных культурах многолетнего эксперимента к 45-летнему возрасту

Порода подлеска	Ель	Береза	Сосна	Осина	Лиственница
Рябина сибирская	0.25	15.75	–	23.75	24.25
Черемуха обыкновенная	–	1.50	0.25	9.50	3.75
Смородина красная	–	1.75	–	1.75	1.25
Шиповник иглистый	–	0.50	–	0.50	–
Калина обыкновенная	–	–	–	1.75	–
Спирея средняя	–	–	–	0.75	0.75
Малина обыкновенная	–	–	–	–	2.00

типичные лесные мхи – плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.) и ритидиадельфус трехгранный (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.). Под елью именно мхи составляют основу живого напочвенного покрова. К часто встречающимся видам трав на всем участке многолетнего эксперимента относятся: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), чина весенняя (*Lathyrus vernus* (L.) Bernh.), нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.), клевер ползучий (*Trifolium repens* L.), клевер луговой (*Trifolium pretense* L.), ортилия однобокая (*Orthilia secunda* (L.) House), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), костяника обыкновенная (*Rubus saxatilis* L.), лютик золотистый (*Ranunculus auricomus* L.), фиалка одноцветковая (*Viola uniflora* L). Видовой состав живого напочвенного покрова под разными культурами существенно различается, значения коэффициента видового сходства Жаккара варьируют от 0.08 до 0.43.

Таким образом, при развитии искусственных лесных биогеоценозов на однородном экологическом фоне видовой состав подчиненных ярусов преимущественно зависит от эдификаторного воздействия материнской породы, которое существенно выше у позднесукцессионных темнохвойных видов.

Почва. За 40 лет произрастания под всеми культурами оформился равномерно распределенный по поверхности органогенный горизонт с четко выраженной стратиграфией из подгоризонтов L, F и H, гомогенный пахотный слой (горизонт PY) стал дифференцированным (O–AY1–AY2). Морфологический профиль плантажированной агросерой почвы приобрел следующий облик: O–AY1–AY2–ТПО1ра–ТПО2–BT–Cg.

Под воздействием лесных культур наметилась тенденция изменения агрегированности почвы. В составе почвенной массы в 1.5–2 раза увеличилась доля макроагрегатов фракции 10–7 мм и уменьшилось количество мезоагрегатов 7–5 мм, вследствие влияния грибного мицелия, корней травянистых и древесных растений, различных по составу водорастворимых продуктов разложения подстилки.

Активным современным почвообразованием затронут минеральный слой почвы 0–10 (13) см. В хвойных культурах и осине гор. AY1 имеет мощность 4 см, в берёзе 2 см. Граница перехода в гор. AY2 неровная. Затронутый современным почвообразованием слой характеризуется более темной окраской, обильным включением бурой органической массы, рыхлым сложением (ОМ – 1.05–1.09 г/см^3 под кедром, лиственницей, сосной, осиной и 1.14–1.16 г/см^3 под елью и березой), порошисто-мелкозернистой или комковато-мелкозернистой структурой. Основная масса корней древесных и травянистых растений (98–63 %) сосредоточена в этой толще. Обильный грибной мицелий отмечен под елью, его глубина достигает 72 см. Под другими культурами его обилие и мощность значительно меньше: под кедром 40 см, сосной 22, лиственницей 12 см. Под осиной и березой насыщенность грибным мицелием слабая и основная масса его сосредоточена в слое 0–10 см.

Образование подстилок и накопление в них органического вещества сопровождается увеличением содержания гумуса в аккумулятивной части минерального профиля. Наиболее существенное (в 1.5–1.8 раза) приращение гумуса в гор. AY1 отмечено под культурами лиственницы и осины и его содержание составило 6.06 и 5.36 % соответственно (табл. 4). В гор. AY2 также отмечено незначительное увеличение содержания гумуса под кедром, лиственницей и сосной: оно составило 3.92–3.49 %. Под елью и березой увеличение содержания гумуса в этих горизонтах незначительно.

Накопление гумуса (углерода) в минеральных горизонтах особенно существенно проявляется при сопоставлении запасов (табл. 5).

Максимальные запасы органического углерода относительно исходных в минеральном слое почвы 0–20 см отмечаются в культурах ели. В культурах кедра, сосны и осины они на 70–80 % обусловлены сформировавшимся органогенным горизонтом, в культурах лиственницы, ели и березы – на 50–66 % аккумуляцией углерода в гумусе аккумулятивного горизонта минеральной части профиля.

Качественный состав гумуса фульватно-гуматный. Отношение $C_{гк}:C_{фк}$ изменяется от 1.5–1.4 под лиственницей и сосной до 1.2–1.1 под осиной и кедром, 1.1–1.0 под елью и березой.

Степень гумификации органического вещества под культурами лиственницы, сосны и осины 59–55 %, под кедром, елью и березой 51–53 %. В агросерых почвах пашни 49 %. Вновь образованный гумус обеднен азотом (C : N 15–16). Соответственно увеличению гумуса отмечено увеличение азота (Шугалей, Ведрова, 2014). Близкий качественный состав гумуса свидетельствует о развитии процессов гумусообразования

Таблица 4. Основные свойства серой почвы под 40-летними лесными культурами

Культура	Горизонт	Мощность, см	Гумус, %	Ca	Mg	pH	
				мг-экв./100 г		водный	солевой
40-летний березняк*	AY1	0–5	10.58	21.9	6.5	6.1	5.2
	AY2	5–10	5.34	18.2	6.0	6.1	5.2
	AEL	10–20	4.56	18.2	5.4	6.0	4.8
		20–30	2.84	17.4	5.8	5.8	4.7
	BT1	30–40	1.77	18.2	6.3	5.8	4.5
		40–50	1.12	19.0	6.3	5.7	4.3
	BT2	50–80	0.49	20.5	6.2	5.8	4.3
	BT3	80–100	0,32	21.2	6.5	6.0	4.3
Агросерая почва (до посадки культур)*	PY	0–5	3.79	18.9	5.8	6.4	5.1
		5–10	3.79	18.9	5.8	6.4	5.1
		10–20	3.51	19.4	7.0	6.4	5.0
	AEL	20–30	2.61	18.8	7.1	6.2	4.7
		30–40	1.82	19.0	6.7	6.1	4.6
	BT1	40–50	1.31	19.2	6.3	5.8	4.4
		50–80	0.78	19.7	7.2	5.8	4.4
	BT2	80–100	0.32	20.1	7.1	6,1	4.5
Кедр	O	0–1.5 (3)	43.80	– **	–	–	–
	AY1	3–7	5.12	20.5	5.0	5.0	5.3
	AY2	7–14	3.92	20.2	5.7	5.0	5.2
	AEL	14–45	2.00	19.4	6.2	6.0	4.7
	BEL	45–55	1.18	19.8	6.8	6.0	4.6
	BT	55–90	0.51	20.8	6.8	6.0	4.5
	C	90–100	0.28	20.8	6.7	6.0	4.4
Лиственница	O	0–4	38.20	–	–	–	–
	AY1	4–8	6.06	19.5	6.9	5.7	5.0
	AY2	8–16	3.91	19.6	6.8	5.7	5.0
	AEL	16–43	1.63	18.4	6.4	6.0	4.7
	BEL	43–91	0.68	20.8	6.4	5.9	4.5
	C	91–110	0.51	19.0	6.4	6.0	4.4
Осина	O	< 1	33.10	–	–	–	–
	AY1	0–12	5.36	19.3	6.1	5.7	4.9
	AEL	12–42	3.27	18.7	6.0	6.0	4.8
	BEL	42–82	1.59	18.9	6.4	5.9	4.8
	C	82–100	0.31	20.1	6.8	6.0	4.6
Сосна	O	0–4	42.20	–	–	–	–
	AY1	4–8	4.34	18.7	5.5	5.0	4.7
	AY2	8–14	3.49	18.6	6.8	5.1	4.8
	AEL	14–26	2.07	18.0	6.8	6.0	4.9
	BEL	26–76	0.96	18.8	7.0	5.9	4.5
	C	76–124	0.28	20.0	6.8	5.9	4.6
Берёза	O	> 1	37.70	–	–	–	–
	AY	1–10	4.15	19.3	5.5	5.0	4.9
	AEL	10–27	3.76	18.6	7.5	5.0	4.8
	BEL	27–50	3.03	18.5	8.3	5.9	4.8
	C	50–71	1.04	19.5	7.5	5.9	4.8
		71–100	0.24	20.0	8.1	6.1	4.4
Ель	O	0–3	46.30	–	–	–	–
	AY1	3–7	4.45	17.8	5.6	4.7	3.8
	AY2	7–26	3.65	18.0	6.6	4.8	3.9
	AEL	26–46	2.52	20.1	6.2	5.9	4.8
	BEL1	46–58	1.90	1.86	6.2	5.9	4.6
	BEL2	58–76	0.78	17.2	6.6	6.0	4.5
	C	76–105	0.19	17.2	6.8	6.0	4.4

* Моделирование…, 1984.
** Не определялось.

Таблица 5. Запасы углерода в агросерой почве под лесными культурами

Лесная культура	Горизонт	Глубина, см	Запасы, т/га			Средняя скорость изменения запасов, т/(га · год)
			исходные*	под 40-летними культурами	накопилось	
Кедр	O	–	– **	15.80	15.80	–
	AY	0–10	28.90	34.10	5.20	0.13
		10–20	28.03	29.49	1.46	0.04
Лиственница	O	–	–	14.80	14.80	–
	AY	0–10	32.64	39.15	6.51	0.16
		10–20	29.21	39.76	10.55	0.26
Осина	O	–	–	3.68	3.68	–
	AY	0–10	28.46	30.83	2.37	0.06
		10–20	28.56	28.74	0.18	0,004
Сосна	O	–	–	9.92	9.92	–
	AY	0–10	24.76	23.03	– 1.73	0.04
		10–20	21.09	26.88	5.79	0.14
Берёза	O	–	–	4.40	4.40	–
	AY	0–10	27.62	34.87	7.25	0.18
		10–20	27.25	29.76	2.51	0.06
Ель	O	–	–	–	–	–
	AY	0–10	28.60	44.92	16.32	0.41
		10–20	26.86	34.53	7.67	0.19

* До посадки лесных культур.
** Не определялось.

по зональному типу и преобладающем влиянии периода биологической активности и содержания продуктивной влаги.

Содержание обменных оснований под всеми культурами осталось практически неизменным. Наметились некоторые различия в реакции почвенного раствора в минеральных горизонтах. Актуальная кислотность (pH_{H2O}) увеличилась в слое 0–5 см под хвойными породами, обменная кислотность (pH_{KCl}) осталась под всеми культурами практически неизменной. Исследования показали, что в культурах всех лесообразующих пород взаимодействие компонентов формирующейся системы «растительность – почва» обусловлено разной степенью аккумуляции продуктов гумификации разлагающегося растительного материала опада-подстилки. Специфичность влияния лесообразующей породы на прилегающий к подстилке минеральный слой почвы отмечена в культурах ели и сосны. В культурах ели отчетливо выражено подкисление почвы в слое 0–10 см, в сосне – обозначился слой (5–10 см) элювиирования гумусовых веществ с последующим накоплением в нижележащем слое 10–20 см. Элювиирование углеродосодержащих веществ происходит вследствие содержания в органогенном горизонте значительного количества лабильных форм углерода (Ведрова, Мухортова, 2000).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование взаимодействия лесо- и почвообразования в эксперименте с лесными древесными видами подтвердили установленные ранее положения о первоначальном формировании лесных фитоценозов, затем следует гумусообразование и в последующем проявляются другие почвенные процессы.

За 45-летний период в фитоценозах многолетнего эксперимента произошли существенные изменения, обусловленные, прежде всего, естественными сукцессионными процессами. Во всех лесных культурах снизилась начальная густота древостоев, а в некоторых существенно изменился состав. Наибольшей сохранностью и монодоминантностью отличаются древостои, сложенные сильными эдификаторами – елью, сосной, кедром. Древостои культур берёзы, осины и лиственницы смешанные.

Естественное возобновление под пологом лесных культур многолетнего эксперимента зависит как от особенностей материнского полога, так и от сукцессионного положения породы подроста. Позднесукцессионные породы – ель и кедр – активно возобновляются в культурах лиственных пород и отличаются хорошим жизненным состоянием, однако под собственным пологом отсутствуют из-за сильного конкурентного

воздействия материнского древостоя. Подрост раннесукцессионных пород – сосны, лиственницы, березы, осины – либо отсутствует (лиственница), либо отличается пониженной жизненностью.

Видовой состав подчиненных ярусов лесных культур многолетнего эксперимента существенно различается, что объясняется, прежде всего, трансформацией условий среды под воздействием материнского полога древостоя и произошедших за 45-летний период сукцессионных изменений. Особенно значительное воздействие на подчиненные ярусы оказывают сильные эдификаторы – ель и кедр. Сукцессионные процессы в фитоценозах, образованных различными лесообразующими породами, быстрее протекают под пологом мелколиственных (березы и осины) и светлохвойных (сосны и лиственницы), чем коренных темнохвойных (ели и кедра) пород.

По основным химическим свойствам формирующиеся в условиях многолетнего эксперимента почвы близки естественным серым почвам. Активным современным почвообразованием затронут минеральный слой почвы 0–10 (13) см. Главным фактором преобразования почвенного профиля являются вертикальные потоки вещества и энергии, поступающие в почву в процессе нарастающей емкости и интенсивности биологического круговорота: формирование органогенных горизонтов и накопление в них углерода сопровождается его увеличением в верхней части минерального профиля. Содержание гумуса в аккумулятивной части невысокое, резко снижается с глубиной, почвенно-поглощающий комплекс насыщен щелочными землями, реакция почвенного раствора слабокислая, в нижней части профиля близка к нейтральной. Эти параметры обусловлены в основном литогенной основой – «почвой-памятью».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александровский А. Л. Запись природной среды в почвах голоцена // Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В. О. Таргульян, С. В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 75.

Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.

Безкоровайная И. Н., Ведрова Э. Ф., Попова Э. П., Шугалей Л. С., Яшихин Г. И. Развитие искусственных лесных биогеоценозов // Сиб. экол. журн. 1997. № 4. С. 393–403.

Безкоровайная И. Н., Егунова М. Н., Таскаева А. А. Почвенные беспозвоночные и их трофическая активность в 40-летних лесных культурах // Сиб. экол. журн. 2017. Т. 24. № 5. С. 609–620.

Ведрова Э. Ф. Трансформация растительных остатков в 25-летних культурах основных лесообразующих пород Сибири // Лесоведение. 1995. № 4. С. 13–21.

Ведрова Э. Ф., Мухортова Л. В. Динамика легкоминерализуемой фракции органического вещества под лесными культурами // Современные проблемы почвоведения в Сибири: Материалы Междунар. науч. конф. посвящ. 70-летию образования кафедры почвоведения Том. гос. ун-та: в 2-х т. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2000. Т. 2. С. 296–299.

Ведрова Э. Ф., Решетникова Т. В. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесообразующих видов Сибири // Лесоведение. 2014. № 1. С. 42–50.

ГОСТ 17.4.3.01-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2018.

ГОСТ 17.4.4.02-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018.

Зонн С. В. Состояние и перспективы изучения лесного биогеоценотического процесса // Почвоведение. 1993. № 9. С. 11–20.

Карпачевский Л. О., Строганова М. Н. Общие закономерности почвообразования в лесной зоне // Почвообразование в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1989. С. 5–12.

Малиновских А. А. Особенности естественного возобновления сосны обыкновенной на гари 1997 г. в Коростелёвском бору // Вестн. Алтай. гос. агр. ун-та. 2017. № 4. С. 67–72.

Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. Н. Горшков, И. В. Лянгузова, Е. А. Мазная, В. Ю. Нешатаев, В. Ю. Нешатаева, Н. И. Ставрова, В. Т. Ярмишко, М. А. Ярмишко / Отв. ред. В. Т. Ярмишко, И. В. Лянгузова. СПб: НИИхимии СПбГУ, 2002. 240 с.

Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов / Л. С. Шугалей, М. Г. Семечкина, Г. И. Яшихин, В. К. Дмитриенко / Под ред. Н. В. Орловского. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 150 с.

Николаев Д. К., Румянцев Д. Е. Сопряженное развитие культур сосны и ели естественного происхождения под их пологом // Лесоведение. 2004. № 5. С. 45–49.

Роуэлл Д. Л. Почвоведение: методы и использование / под ред. и с предисл. Б. Н. Залотаревой. М.: Колос, 1998. 486 с.

Рубцов М. В., Глазунов Ю. Б., Николаев Д. К. Восстановление ели под пологом культур сосны на суглинистых почвах в центре Русской равнины // Лесн. вестн. 2014. Т. 18. № 1. С. 64–72.

Санников С. Н. Естественное возобновление сосны и меры содействия ему в Припышминских борах. Свердловск: Урал. науч. центр АН СССР, 1961. 77 с.

Сохранение и восстановление биоразнообразия / В. Е. Флинт, О. В. Смирнова, Л. Г. Ханина, М. В. Бобровский, Н. А. Торопова, Л. Б. Заугольнова, О. П. Мелехова, А. Г. Сорокин / Под ред. М. В. Гусева, О. П. Мелехова, Э. П. Романова. М.: Изд-во науч. и учеб.-метод. центра, 2002. 286 с.

Таргульян В. О., Соколов И. А. Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент // Математическое моделирование в экологии. М.: Наука, 1973. С. 17–33.

Флора Сибири. Salicaceae – Amaranthaceae. Т. 5 / Под ред. И. М. Красноборова. Новосибирск: Наука. Сиб. отдние, 1992. Т. 5. 312 с.

Хатмуллин Р. З., Кулагин А. Ю., Уразгильдин Р. В. Оценка естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в естественных и антропогенно-нарушенных ландшафтах Южного Урала // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2009. № 6. С. 412–414.

Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Шугалей Л. С. Взаимодействие леса и почвы // Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. С. 9–23.

Шугалей Л. С., Ведрова Э. Ф. Многолетний эксперимент по взаимодействию основных лесообразующих пород с агросерой почвой: история создания и первые результаты // Творческое наследие профессора Н. В. Орловского, его использование и развитие: Материалы науч. чтений, посвящ. 115-летию со дня рожд. Н. В. Орловского, Абакан, 19–20 февраля 2014 г. Абакан: НИИ агр. пробл. Хакасии, 2014. С. 95–101.

Шушпанов А. С., Кузьмичев В. В. Прогноз сукцессий в лиственничных и кедровых лесах Восточного Саяна // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 1. С. 79–84.

Яшихин Г. И. Гидротермический режим серых лесных почв. Красноярск: ИЛиД им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1991. 165 с.

Bezkorovaynaya I. N., Egunova M. N., Taskaeva A. A. Soil invertebrates and their trophic activity in 40-year-old forest stands // Contemp. Probl. Ecol. 2017. V. 10. N. 5. P. 524–533 (Original Rus. text © I. N. Bezkorovaynaya, M. N. Egunova, A. A. Taskaeva, 2017, publ. in Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. 2017. N. 5. P. 609–620).

Binkley D., Giardina C. Why do trees species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions // Biogeochemistry. 1998. V. 42. Iss. 1. P. 89–106.

Binkley D., Fisher R. F. Ecology and management of forest soils. Fourth ed. Wiley-Blackwell, 2013. 347 p.

Mueller K. E., Hobbie S. E., Chorover J., Reich P. B., Eisenhauer N., Castellano M., Chadwick O. A., Dobies T., Hale C. M., Jagodziński A. M., Kałucka I., Kieliszewska-Rokicka B., Modrzyński J., Rożen A., Skorupski M., Sobczyk Ł., Stasińska M., Trocha L. K., Weiner J., Wierzbicka A., Oleksyn J. Effects of litter traits, soil biota, and soil chemistry on soil carbon stocks at a common garden with 14 tree species // Biogeochemistry. 2015. V. 123. Iss. 3. P. 313–327.

Pretzsch H., del Río M., Biber P., Arcangeli C., Bielak K., Brang P., Dudzinska M., Forrester D. I., Klädtke J., Kohnle U., Ledermann T., Matthews R., Nagel J., Nagel R., Nilsson U., Ningre F., Nord-Larsen T., Wernsdörfer H., Sycheva E. Maintenance of long-term experiments for unique insights into forest growth dynamics and trends: review and perspectives // Europ. J. For. Res. 2019. V. 138. Iss. 1. P. 165–185.

Schugalei L. S. The Siberian afforestation experiment: history, methodology, and problems // Tree species effects on soils: Implications for global change. Proc. NATO Adv. Res. Workshop on Trees and Soil Interactions, Implications to Global Climate Change, Aug. 2004, Krasnoyarsk, Russia / D. Binkley, O. Menyailo (Eds.). Springer Dordrecht, 2005. P. 257–268.

THE MAIN COMPONENTS OF ARTIFICIAL FOREST BIOGEOCENOSES OF A MULTI-YEAR EXPERIMENT

I. N. Bezkorovaynaya[1], O. M. Shabalina[1], L. S. Shugaley[2]

[1] *Siberian Federal University*
Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation

[2] *Krasnoyarsk State Agrarian University*
Prospekt Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049 Russian Federation

E-mail: ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru, oshabalina@sfu-kras.ru, ibezkorovaynaya@sfu-kras.ru

The interaction of the main forest-forming species of Siberia: Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.), bush birch (*Betula fruticosa* Pall.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), aspen (*Populus tremula* L.), Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), and Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) with agro-gray soil is considered. The study is carried out in a special long-term experiment with forest crops, initiated by prof. N. V. Orlovskiy in 1968-69 in the southern taiga on the territory of the Kemchug Upland. It was revealed that biological characteristics and successional position of tree species significantly influence all components of the phytocenosis. The biggest changes were recorded under the canopy of early successional coniferous (larch) and small-leaved (birch and aspen) species, while late successional species – spruce and cedar – at this stage significantly limit the development of subordinate layers. Over the 45-year period of growth of forest crops, the soil profile is formed due to the differentiation of the arable substrate of the soil-forming species into genetic horizons. The influence of the forest canopy on planted agro-gray soil occurs gradually and intensifies with the growth and development of crops, the formation of a litter horizon and covers all soil properties. Active modern soil formation affects the mineral soil layer 0–10 (13) cm. Vertical flows of matter and energy entering the soil in the process of increasing capacity and intensity of the biological cycle are the main factor in the formation of the soil profile. The development of soil under forest crops under the conditions of a long-term zonal experiment was noted.

Keywords: *gray planted soil, tree species, tree stand, undergrowth, underwood, living ground cover.*

How to cite: *Bezkorovaynaya I. N., Shabalina O. M., Shugaley L. S.* The main components of artificial forest biogeocenoses of a multi-year experiment // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 3. P. 83–95 (in Russian with English abstract and references).