

УДК 631\*231.1+574.42

## РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА В ФОРМИРОВАНИИ ФИТОГЕННЫХ ПОЛЕЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЮВИЯХ КУЗБАССА

Уфимцев В.И., Егорова И.Н.

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии» СО РАН,  
Кемерово, e-mail: uwy2079@gmail.com

Изучен состав растительного опада в фитогенном поле деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на отвалах вскрышных пород. Изучены концентрация и динамика лигнина и полифенольных соединений в лесной подстилке в пределах фитогенных полей. Установлены незначительные колебания между подкороновой, прикороновой и внешней зонами, в пределах 25–30%, максимальная концентрация наблюдается в переходной прикороновой зоне. Концентрация полифенольных соединений к концу вегетационного периода возрастает в 2–3 раза, что связано со смывом этих веществ с кроны дерева. Максимальное подавление растительности происходит в подкороновой зоне, где только два вида обладают явной положительной реакцией на фитогенное поле сосны – это *Poa angustifolia* L. и *Pinus sylvestris* L. (самосев). Остальные виды имеют приспособительную или, чаще, отрицательную реакции – содержание колинов в подкороновой зоне на уровне 320–560 УКЕ, превышающее аналогичный показатель в прикороновой и внешней зонах в 3–6 раз. Вещественный состав подстилки в подкороновой зоне выделяет вещества, подавляющие развитие большинства травянистых видов. Во внешней зоне, опад которой состоит из остатков травянистых растений, ингибирование практически не наблюдается, в некоторых случаях возможен стимулирующий эффект.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., техногенный элювий, фитогенное поле, аллелопатия, опад, подстилка, лигнин, полифенольные соединения, колины, условные кумариновые единицы (УКЕ)

## ROLE OF THE VEGETABLE DEBRIS IN FORMATION OF PHYTOGENOUS FIELDS OF THE SCOTS PINE ON TECHNOGENIC ELUVIUMS OF KUZBASS

Ufimtsev V.I., Egorova I.N.

Federal research center of coal and coal chemistry of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Science, Kemerovo, e-mail: uwy2079@gmail.com

The structure of a vegetable debris in the phytoгенous field of trees of a scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on dumps of the overburden breeds is studied. Concentration and dynamics of a lignin and polyphenolic connections in a forest laying within phytoгенous fields are studied. Insignificant fluctuations between under-crown, transitional and external zones, within 25–30% are established, the maximum concentration is observed in a transitional, transitional zone. Concentration of polyphenolic connections by the end of the vegetative period increases by 2–3 times that is connected with washout of these substances from a crown. The maximum suppression of vegetation happens in a under-crown zone where only 2 look possess obvious positive reaction to the phytoгенous field of a pine – it is *Poa angustifolia* L. and *Pinus sylvestris* L. (self-sowing). The others of a look have adaptive or, more often, negative reactions – the maintenance of kolin in a under-crown zone at the level of 320–560 UKE, exceeding a similar indicator in transitional and external zones by 3–6 times. The material structure of a laying in a under-crown zone emits the substances suppressing development of the majority of grassy types. In an external zone, which consists of residues litter herbaceous plants, virtually no inhibition is observed, in some cases possible stimulating effect.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* L., technogenic eluvium, phytoгенous field, allelopathy, debris, laying, lignin, polyphenolic connections, guelder-roses, conventional coumarinic units (CCU)

Формирование молодых древесных насаждений, созданных на отвалах угольной промышленности, протекает под влиянием различных групп экологических факторов. По мере своего роста деревья сами начинают изменять условия среды: посредством их фитогенных полей происходит трансформация режима инсоляции и гидротермического режима, а по мере выделения и накопления в среде растительных выделений влияние фитогенного поля дополняется формированием особого аллелопатического режима, подавляющего или, реже, стимулирующего произрастание других

видов растений [3, 6]. Комплексное влияние фитогенных полей выступает механизмом эндокогенеза, в ходе которого виды-эдификаторы лесных сообществ перестраивают «под себя» как условия местообитаний, так и характер взаимоотношений в ценозе.

В отличие от прямой конкуренции за ресурс, при которой наблюдается полное или частичное изъятие какого-либо фактора, эффект аллелопатии зависит от химических соединений – физиологически активных веществ – колинов – выделяемых растениями в среду [7, 9]. В условиях техногенных элювиев, при создании лесных насаждений,

находящихся в нулевом моменте существования экосистемы, накопление колинов связано исключительно с произрастающими на данном этапе растениями и продуктами их жизнедеятельности, из которых важнейшее значение имеет опад [8, 10]. Горизонтальная дифференциация растительного покрова насаждений создает мозаичность формирующейся лесной подстилки и неоднородность накопления аллелопатически активных веществ как одного из основных факторов эндоэкогенетической сукцессии.

**Целью данной работы** явилось изучение структуры растительного опада, содержания в нем аллелопатических веществ и характера их влияния на виды растений в пределах фитогенных полей сосны обыкновенной, произрастающей на техногенных элювиях угольной промышленности.

### Материалы и методы исследования

Исследования проведены на отвалах Кедровского угольного разреза, в 25-летних насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Техногенный элювий отвалов состоит из гетерогенной смеси вскрышных горных пород – главным образом, песчанников, с незначительным присутствием частиц угля и конгломератов. Отобраны 3 одиночных модельных дерева, имеющие I категорию жизненного состояния по шкале В.А. Алексеева и I класс бонитета. Высота деревьев составляет 10,6–11,4 м, ступень толщины – 18–20 см, диаметр кроны – 2,7–3,5 м, высота прикрепления кроны – 20–40 см. В пределах подкроновой (П), прикромовой (ПК) и внешней (В) зон фитогенных полей проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие (ОПП).

Для определения аллелопатически активных веществ отбор подстилки проводился в начале (III декада мая), в середине (III декада июля) и в конце вегетационного периода (III декада сентября). Образцы отбирались в пределах фитогенных полей каждого модельного дерева на учетных площадках размером 30×60 см: 2 образца в подкромовой зоне – из верхнего (опадного – L) и нижнего (ферментативного – F) горизонта подстилки, по одному образцу – в остальных зонах. Образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с определением доли каждой растительной фракции. Перед проведением исследований выделялись аналитические пробы, измельчались до частиц размером 1 мм. В аналитических пробах определяли содержание золы методом сухого озоления. Определение лигнина проводили по

ГОСТ 26177.84, определение полифенольных соединений – по ГОСТ 24027.80 [4].

Определение активности аллелопатических веществ в подстилке проводили методом биопроб по А.М. Гродзинскому [2] на тест-культурах редиса (*Raphanus sativus* L. convar. *radicula*). Водная вытяжка готовилась из аналитической пробы за 24 часа до начала проращивания из расчета 1:100. В качестве контрольного варианта выбрано проращивание семян в талой снеговой воде. Проращивание проводилось в чашках Петри по 100 семян по каждому варианту в трехкратной повторности в термостате с постоянной температурой +28°C. Учет всхожести проведен при прорастании 50% в контроле. Процент всхожести семян биотеста пересчитывали по шкале условных кумариновых единиц (УКЕ). Морфометрические параметры измерены в стандартные сроки для прорастания редиса – через трое суток после начала проращивания.

Повторность всех опытов была трёхкратной. Анализ результатов проводили методами математической статистики (ПО Untitled).

### Результаты исследования и их обсуждение

В фитогенном поле модельных деревьев наблюдается горизонтальная дифференциация растительного покрова: доминирующими видами растений в подкромовой зоне являются собственно самосевы *P. sylvestris* L. (ОПП достигает 30–50%) и *Poa angustifolia* L. (10–70%), в прикромовой резко преобладает *Melilotus officinalis* L. (30–100%), во внешней представлены *Dactylis glomerata* L. (20–70%), *Centaurea scabiosa* L. (10–50%), *Agrostis gigantea* L. (10–30%), *Galium verum* L. (5–15%), *Achillea millefolium* L. (5–10%), *Amoria hybrida* L. (2–5%).

Отличительной характеристикой подстилки в прикромовой зоне является высокая фитомасса – 4326–4623 г/м<sup>2</sup> с учетом обоих горизонтов (L + F), что на порядок выше, чем во внешней зоне, и на 2 порядка – чем в прикромовой (табл. 1). В течение вегетационного периода наблюдается повышение концентрации в подстилке лигнина на 11–58%, полифенолов – в 2,1–2,7 раза (табл. 2), что связано, вероятно, с выделением последних кроной деревьев и постоянным смывом летними осадками [4].

Таблица 1

Воздушно-сухая масса подстилки в фитогенном поле моделей

Срок взятия образца	Всего ( $X \pm x$ ), г/м <sup>2</sup>			
	Подкромовая (L)	Подкромовая (F)	Прикромовая	Внешняя
Май	894 ± 36	3452 ± 153	21 ± 15	334 ± 48
Июль	811 ± 52	3697 ± 182	61 ± 40	277 ± 52
Сентябрь	913 ± 67	3710 ± 262	119 ± 30	457 ± 42

В нижнем (F) слое подстилки подкороной зоны концентрация лигнина и полифенолов колеблется незначительно – вероятно, основная масса смытых веществ сорбируется в верхнем (L) слое и туда не попадает, либо вымывается в техногенный элювий, учитывая высокую зольность материала (31,2%) (рис. 1). Наиболее существенное повышение отмечено во внешней зоне. Максимальная концентрация во все периоды наблюдений установлена в прикороной зоне, вероятно, вследствие перераспределения осадков кроной деревьев и их максимального выпадения в данной зоне: так, в подкороной зоне концентрация полифенолов на 5–36% ниже, а во внешней зоне – на 41–96%.

Различия концентраций лигнина и полифенолов связаны, вероятно, с веществным составом подстилки (табл. 3). В подкороной зоне в L-слое преобладает хвоя – 44–56% и шишки – 32–42%, в F-слое доля хвои составляет 79–89%, поскольку опад здесь более ранний, в основном до

начала активного плодоношения деревьев. Доля мелких веток составляет 1–10% и, вероятно, не играет существенной роли в формировании подстилки. Опад травянистых растений присутствует в L-слое – около 2%.

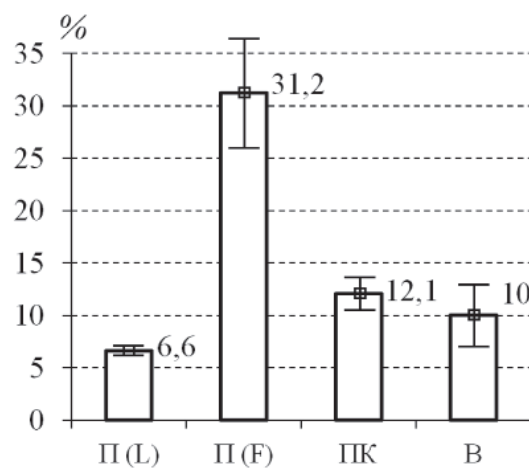


Рис. 1. Средняя зольность подстилки в фитогенном поле деревьев

Таблица 2

Динамика концентраций лигнина и полифенольных соединений в подстилке

Образцы*	Лигнин, %			Полифенольные соединения, %		
	Май	Июль	Сентябрь	Май	Июль	Сентябрь
Подкороная (F)	36,2 ± 1,4	43,8 ± 0,7	37,9 ± 0,7	0,24 ± 0,02	0,244 ± 0,02	0,33 ± 0,02
Подкороная (L)	35,0 ± 0,3	39,9 ± 1,5	42,2 ± 0,6	0,36 ± 0,01	0,555 ± 0,02	0,97 ± 0,01
Прикороная	43,8 ± 1,4	46,0 ± 4,7	48,9 ± 3,2	0,49 ± 0,01	0,642 ± 0,01	1,02 ± 0,01
Внешняя	24,8 ± 1,3	34,2 ± 0,7	38,5 ± 0,2	0,25 ± 0,02	0,521 ± 0,01	0,69 ± 0,03

Таблица 3

Динамика массы фракций подстилки в течение вегетационного периода

Сроки	Доля фракций, %				
	хвоя	шишки	ветки	травя	листья
Подкороная (L)					
Май	52,0	41,0	6,5	0,6	0,0
Июль	44,6	42,6	10,7	2,1	0,0
Сентябрь	56,7	32,3	8,7	2,3	0,0
Подкороная (F)					
Май	82,3	7,8	9,8	0,1	0,0
Июль	89,1	9,5	1,4	0,0	0,0
Сентябрь	79,3	16,2	4,5	0,0	0,0
Прикороная					
Май	39,5	45,7	1,3	13,5	0,0
Июль	44,8	40,4	0	12,3	2,5
Сентябрь	38,3	27,9	1,3	18,4	14,1
Внешняя					
Май	0,1	0,0	0,0	99,9	0,0
Июль	0	0,0	0,0	99,3	0,7
Сентябрь	0,5	0,0	0,0	48,6	51,4

В прикромовой зоне сохраняется высокая доля хвои (38–44 %) и шишек (27–45 %), доля массы травянистых остатков возрастает до 12–18 %, к концу вегетационного периода добавляется около 14 % листья березы повислой и осины, единично произрастающих в насаждении. Во внешней зоне подстилка состоит почти целиком из опада луговой растительности, к концу вегетации существенна доля листьев, до половины общей массы, которая увеличивается примерно на такую же величину. Шишки во внешней зоне не отмечались, хвоя встречается единично (табл. 3).

Таким образом, подстилка во внешней зоне фитогенного поля имеет совершенно иной состав, чем в подкромовой и прикромовой. Повышение концентраций лигнина и полифенольных соединений характерно как для опада сосны, выступающей эдификатором сообщества, так и для травянистых видов подчиненного яруса. Различия фитомассы подстилки по зонам, хотя и определяют удельное содержание лигнина и полифенолов, скорее всего имеют второстепенное значение в подавлении тех или иных видов растений, в то время как на первый план выходят именно различия структуры подстилки.

Как известно, аллелопатический эффект различных групп веществ, выделяемых растениями, может быть совершенно различным – в одних условиях они выступают ингибиторами, в других – стимуляторами роста, в третьих – не действуют [2]. Вероятно, различным составом аллелопатически активных веществ – колинов – обусловлены различия состава доминирующих видов по зонам фитогенных полей. Доминанты подкромовой зоны, вероятно, устойчивы к действию колинов сосны обыкновенной и имеют к ее фитогенному полю положительную реакцию. В первую очередь это касается *P. angustifolia* L., и, вероятно, других видов мятликов. Работами О.П. Лавровой с сотр. [5] установлено, что выделения сосны оказывают стимулирующее воздействие на прорастание семян *P. pratensis* L., тогда как прорастание прочих видов – подавляют.

Экспериментальные данные показали, что реакция тест-культуры соответствует реакции вида, имеющего отрицательную реакцию на фитогенное поле сосны (рис. 2).

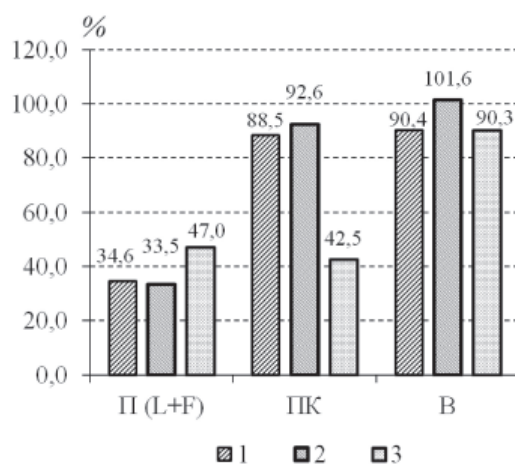


Рис. 2. Реакция тест-культуры на содержание колинов в подстилке, в % от контроля:  
1 – всхожесть (%);  
2 – энергия прорастания (%);  
3 – длина проростков (см)

В подкромовой зоне всхожесть и энергия прорастания в 3 раза ниже, чем в контроле, и соответствует в среднем 320 УКЕ, а в приствольной части подавление максимальное – содержание колинов составляет 560 УКЕ (рис. 3).

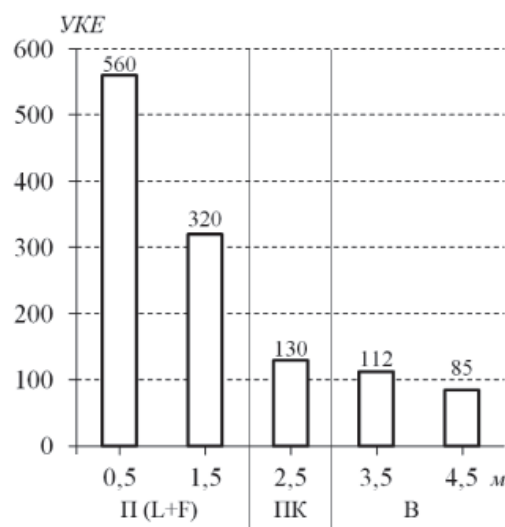


Рис. 3. Содержание колинов (УКЕ) в подстилке по мере удаления от ствола дерева

В прикромовой зоне показатели прорастания семян возрастут более чем в 2 раза, содержание колинов снижается до 130 УКЕ однако низкая морфометрия проростков (менее половины от контроля) свидетельствует о существенном подавляющем влиянии на ростовые процессы. В подстилке внешней зоны тест-культура подавляется менее чем на 10%, наблюдается даже некоторая стимуляция (+1,6%) энергии прорастания (рис. 2).

### Заключение

Повышенная концентрация лигнина и, в большей степени, полифенольных соединений характерна для прикромной зоны фитогенных полей, в то время как максимальное подавление тест-культур и, соответственно, содержания колинов приурочено к подкромной зоне. Определяющее значение для подавления растений подчиненного яруса имеет не концентрация данных веществ в подстилке, а тип опада, ее составляющего и значительно различающегося в пределах зон влияния деревьев. Экстракт опада во внешней зоне практически не оказывает подавляющего воздействия на тест-культуры, таким образом свидетельствуя о существенном ослаблении аллелопатического режима в фитогенном поле при удалении к центру консоры – модельному дереву. Вещественный состав подстилки играет основную роль в распределении видов растений, имеющих различную реакцию на выделения опада сосны – с одной стороны, и опада травянистых растений – с другой. Большинство видов обладают отрицательной реакцией на фитогенное поле деревьев сосны обыкновенной, произрастающих на техногенных элювиях, виды с приспособительным и положительным типом реакций, устойчивые к воздействию колинов, находятся в меньшинстве.

*Работа проведена при поддержке гранта РФФИ 14-04-31088.*

### Список литературы

1. Горбунова Ю.В. Баланс углерода в культурах сосны техногенных ландшафтов // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 2. – С. 142–148.
2. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. – Киев: Наукова думка, 1965. – 200 с.
3. Гродзинский А.М. Парадигмы в аллелопатии // Методологические проблемы аллелопатии: сб. науч. тр. АН УССР. ЦРБС. – Киев: Наукова думка, 1989. – С. 3–14.
4. Колмогорова Е.Ю. Динамика накопления дубильных веществ в хвое и побегах сосны обыкновенной, произрастающей в различных экологических условиях угольного отвала // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: материалы III Международной конференции. – Кемерово, 18–19 сентября 2012. – Кемерово, 2012. – С. 93–95.
5. Лаврова О.П., Петров Д.А., Аржаева Е.В., Мирошкина Д.Ю. Аллелопатическое влияние деревьев на формирование травянистого покрова в их подкромном пространстве // Студенческий научный форум: IV Международная студенческая электронная научная конференция. – 2012. – <http://www.rae.ru/forum2012/266/2804>. (Дата обращения 14.02.2016).
6. Матвеев Н.М. Аллелопатия как фактор экологической среды. – Самара: Кн. изд-во, 1994. – 203 с.
7. Передериева В.М., Власова О.И., Шутко А.П. Аллелопатические свойства сорных растений и их растительных остатков в процессе минерализации // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 73. – <http://ej.kubagro.ru/2011/09/pdf/11.pdf>. (Дата обращения 25.01.2016).
8. Работнов Т.А. Экспериментальная фитопатология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 160 с.
9. Райс Э. Аллелопатия: пер. с англ.; под ред. А.М. Гродзинского. – М.: Изд-во «Мир», 1978. – 392 с.
10. Решетникова Т.В., Зырянова А.А., Ведрова Э.Ф. Трансформация органического вещества лесной подстилки (экспериментальное исследование) // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 6. – С. 80–93.