СОДЕРЖАНИЕ ЛИГНИНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ОПАДЕ И ПОДСТИЛКЕ НЕНАРУШЕННЫХ И ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННУМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ

Артемкина Н.А.

Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Анапты, artemkina@inep.ksc.ru

Опад является важным, специфическим компонентом лесных экосистем. Разложение растительного опада является одним из основных процессов, регулирующих круговорот углерода и элементов питания и формирование органогенного горизонта в бореальных лесах [3]. Фенольные соединения играют немаловажную роль в почвенных процессах [5]. Отдельно следует выделить существенную роль лигнина – трёхмерного полимера фенольной природы. Будучи устойчивым к разложению компонентом, лигнин влияет на скорость разложения опада и, следовательно, затрагивает механизмы взаимодействия с организмами почвы и преобразования питательных веществ [4]. Содержание лигнина и целлюлозы в химическом составе лесного опада, прежде всего, зависит от разновидности растений, но и климатические, и экологические факторы также могут привести к значительным качественным и количественным изменениям в опаде и подстилке [1, 7].

Процесс деструкции растительного опада в бореальной зоне подразделяется на две основные стадии [4]:

1. Начальную стадию, когда на процесс разложения наибольшее влияние оказывают концентрация водорастворимых компонентов, содержание основных элементов питания и климатические условия.
2. Поздние стадии, когда определяющим темпы деструкции становится содержание лигнина.

Согласно данным ранее проведенных исследований, загрязнение среды выбросами медепла-

Рис. 1. Схема расположения площадок отбора проб.

вильного завода в 3–5 раз уменьшает скорость деструкции чистой целлюлозы, резко увеличивая при этом ее пространственную вариабельность [2]. Кроме того установлено накопление лигнина в хвое *Pinus sylvestris* в условиях промышленного загрязнения [8].

Определение химического состава для различных видов растений может помочь в выявлении механизмов, управляющих скоростью разложения активного опада и подстилки в некоторых северных экосистемах (ненарушенных или подверженных техногенному загрязнению).

Наше исследование было направлено на определение концентраций лигнина и целлюлозы, а также показателя лигнин/целлюлоза в опаде и подстилке ненарушенных и подверженных техногенному загрязнению северотаежных сосновых лесов.

Исследования проводили в северотаежных лесах Кольского полуострова, подверженных и не подверженных промышленному воздушному загрязнению выбросами медно-никелевого комбината «Североникель». В частности в сосняках по градиенту загрязнения (на разных стадиях их техногенной трансформации) (рис. 1). Главная лесообразующая порода на выбранных площадках *Pinus sylvestris* L. Фоновые леса представлены сосняком кустарничково-зеленомошным (110 км от комбината). Леса, подверженные воздушному загрязнению, представлены дефолирующими лесами (сосняк кустарничковый (31 км)) и сосновым редколесьем (10 км). Учитывая пространственную гетерогенность биогеоценозов, изучение проводили в их отдельных структурных частях – межкрупных парцеллах, отличающихся друг от друга составом, структурой, свойствами своих компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена.

В представленный период происходила существенная эмиссия тяжелых металлов комбинатом «Североникель». Эмиссия металлов в течение 1980-ых и 1990-ых составляла 3000-8000 т никеля и 1000-6000 тонн меди ежегодно [6]. Эксперимент продлился в течение 2 лет (с сентября 1997 до октября 1999 г.) с использованием пакетного метода. В пакеты из фильтроткани закладывали различные виды опада преобладающих сосудистых видов растений (*Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium myrtillus* и *Empetrum hermaphroditum*) и образцы коричневых частей мхов (главным образом, *Pleurozium schreberi*), а также суммарную лесную подстилку. Пробы растительного материала (по 10 г каждая) помещали в межкрупные пространства в трех повторностях. Ежегодно в октябре отбирались пробы на анализ содержания основных компонентов.

В лаборатории образцы высушивали, затем каждый образец измельчали и просеивали через сито 1 мм. Содержание лигнина и целлюлозы определяли путем обработки пробы 72%-ной серной кислотой, после предварительного кипячения в растворе цетилтриметиламмония бромидом в 0.5 М H_2SO_4 [9].

Динамика содержания лигнина

По уровню исходного содержания лигнина в растительном опаде можно предложить следующий ряд для фоновых условий: кора сосны (47.9-55.3%) > листья вороники (34.4-43.5%) > подстилка (29.3-36.8%) > древесина сосны (27.6-30.9%) > листья берёзы (23.3-26.0%) > хвоя сосны (18.2-21.4%) > мхи (19.0%) > листья черники (13.4-15.6%) > листья брусники (12.6-15.4%). При приближении к источнику загрязнения нашли накопление лигнина в исходных образцах листьев берёзы, вороники, подстилки и снижение его содержания в листьях брусники, черники, хвое сосны. Во мхах начальная концентрация остается неизменной. В древесине и коре сосны определённых тенденций в изменении количества лигнина в зависимости от интенсивности загрязнения не выявлено.

После прохождения двухгодичного деструкционного цикла максимальные концентрации лигнина характерны для всех видов опада, за исключением древесины, коры и хвои сосны, трансформирующихся на площадке около источника загрязнения. Количество лигнина в деструкционном цикле у древесины и коры сосны, листьев вороники, мхов и подстилки практически не изменяется. Значительное накопление лигнина для некоторых растений отмечено в первый год разложения опада за счет вымывания водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, затем содержание лигнина относительно стабилизируется. Наибольшие концентрации лигнина за двухлетний период трансформации опада формируются в коре сосны и листьях брусники (49.1-56.0 и 50.5-56.2 % соответственно). Далее следует ряд убывания: листья черники (50.5-56.2 %) > листья берёзы

(48.0-52.9%) > листья вороники (41.6-50.5%) > подстилка (30.8-40.6%) > хвоя сосны (28.2-37.4%) > мхи (18.2-23.5%).

Динамика содержания целлюлозы

По уровню исходного содержания целлюлозы в растительном опаде можно предложить следующий ряд для фоновых условий: древесина сосны (42.5-49.0%) > мхи (28.2 %) > хвоя сосны (24.3-26.0%) > кора сосны (19.4-23.4%) > подстилка (14.4-18.7%) > листья брусники (12.7-15.4%) > листья черники (11.6-13.1%) > листья берёзы (12.5-13.7%) > листья вороники (10.9-12.7%). При приближении к источнику загрязнения нашли накопление целлюлозы в исходных образцах хвои и древесины сосны, листьев вороники, подстилки и снижение её содержания в коре сосны, листьях берёзы, брусники, черники. Во мхах начальная концентрация остается неизменной.

После прохождения двухгодичного деструкционного цикла максимальные концентрации целлюлозы характерны для древесины сосны, трансформирующейся на площадке около источника загрязнения, а также для *Pleurozium schreberi* в фоновых и дефолилирующих лесах. Количество целлюлозы в деструкционном цикле у коры сосны и подстилки достоверно не изменяется ($p > 0.05$). Значительное накопление целлюлозы для хвои ели, листьев берёзы, брусники, вороники и черники зафиксировано в первый год разложения опада за счет вымывания водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, затем содержание целлюлозы уменьшается. Особенно ярко эта картина выраже-

Рис. 2. Концентрации лигнина (%) и целлюлозы (%), показатель лигнин/целлюлоза.

на на стадии дефолирующих лесов.

По концентрации целлюлозы за двухлетний период трансформации опада можно сформировать следующий ряд: древесина сосны (41.3-50.0%) > мхи (27.9-30.3%) > хвоя сосны (21.5-26.5%) > кора сосны (22.9-25.1%) > листья брусники (18.6-19.9%) > листья черники (14.4-18.2%) > подстилка (13.8-19.7%) > листья берёзы (13.2-14.7%) > листья вороники (12.5-15.3%).

Показатель отношения лигнин/целлюлоза (в значительной степени определяет в дальнейшем скорость разложения опада в первой фазе) (рис. 2) уменьшается в порядке: листья вороники (2.8-3.9) > листья берёзы (1.7-3.8) > листья черники (1.1-3.8) > листья брусники (1.0-3.0) > подстилка (1.7-2.8) > кора сосны (2.0-2.7) > хвоя сосны (0.7-1.7) > мхи (0.6-0.8) > древесина сосны (0.6-0.7). С увеличением техногенной нагрузки происходит увеличение показателя лигнин/целлюлоза (начальное) в коре сосны, листьях вороники и в подстилке, в то же время показатель уменьшается в древесине и хвое сосны, листьях черники. Во мхах и листьях брусники начальная концентрация остается неизменной.

В ходе проведенного двухлетнего полевого эксперимента происходит стабилизация содержания лигнина на уровне 40-50% за счет вымывания легкогидролизуемых веществ практически во всех видах опада, кроме древесины и коры сосны, содержание лигнина в которых не изменяется. При приближении к источнику загрязнения происходит накопление лигнина в разлагающемся опаде большинства исследованных видов. Концентрация целлюлозы накапливается в первый год трансформации опада, и только на второй год содержание целлюлозы начинает снижаться в большинстве видов опада (исключение составляют, как и в случае с лигнином древесина и кора сосны) на всех площадках различной степени загрязнения. Несмотря на то, что показатели лигнин/целлюлоза наименьшие у мхов и древесины сосны скорость потери массы у этих видов опада может быть ниже, чем у других видов, т.к. в этих случаях лигнин и другие малорастворимые фенольные соединения маскируют целлюлозу и делают её более стойкой к микробному разложению.

Литература

1. Артемкина Н.А., Лукина Н.В., Орлова М.А. Пространственное варьирование содержания вторичных метаболитов, углерода и азота в подстилках северотаежных ельников // Лесоведение. 2018. № 1. С. 37-47.
2. Воробейчик Е.Л., Пищулин П.Г. Влияние деревьев на скорость деструкции целлюлозы в почвах в условиях промышленного загрязнения // Почвоведение. 2011. № 5. С. 597-610.
3. Горбачева Т.Т., Лукина Н.В., Артемкина Н.А. Динамика содержания полифенолов при разложении опада и подстилки в ельниках зеленомошных Кольского полуострова // Лесоведение. 2006. № 3. С. 15-23.
4. Berg B. Foliar Litter Decomposition: A Conceptual Model with Focus on Pine (Pinus) Litter—A Genus with Global Distribution // ISRN Forestry. 2014. V. 2014. Article ID 838169. 22 pages.
5. Hättenschwiler S., Vitousek P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling // Trends in Ecology and Evolution. 2000. V.15. № 6. P. 238-243.
6. Kozlov M.V., Barcan V. Environmental contamination in the central part of the Kola Peninsula: history, documentation, and perception // Ambio. 2000. V. 29. P. 512-517.
7. Lukina N.V., Orlova M.A., Steinnes E., Artemkina N.A., Gorbacheva T.T., Smirnov V.E., Belova E.A. Mass-loss rates from decomposition of plant residues in spruce forests near the northern tree line subject to strong air pollution // Environmental Science and Pollution Research. 2017. V. 24. N 24. P. 19874-19887.
8. Lukjanova A., Mandre M. Effects of Alkalization of the Environment on the Anatomy of Scots Pine (Pinus sylvestris) Needles // Water Air and Soil Pollution. 2010. V. 206. P. 13-22.
9. Rowland A.P., Roberts J.D. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1994. V. 25. № 3-4. P. 269-277.