

ДИНАМИКА МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ КСИЛОЛИЗА ЛИСТВЕННИЦЫ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ВОДЛОЗЕРСКИЙ»

**Ромашкин И.В.¹, Капица Е.А.², Шорохова Е.В.²,
Никерова К.М., Руоколайнен А.В.**

¹ Институт леса Карельского Научного Центра РАН,
romashkin@krc.karelia.ru

² Санкт-Петербургский Государственный
Лесотехнический Университет им. С.М. Кирова

DYNAMICS OF MACRO- AND MICROELEMENTS DURING DECOMPOSITION OF LARCH WOOD IN THE VODLOZERSKY NATIONAL PARK

**Romashkin I.V.¹, Kapitsa E.A.², Shorohova E.V.²,
Nikerova K.M., Ruokolainen A.V.**

Larch is the most common tree species in the boreal zone in Russia, but the dynamics of biogenic elements in its deadwood over the decomposition remains little studied. We examined the dynamics of the content of the main macro- (C, N, Ca, Mg, K) and microelements (Mn, Fe, Na, Cu, Zn) in the bark and wood of downed larch logs. The long decomposition process leads to long-term accumulation and gradual release of biogenic elements, which ascertains the importance of larch deadwood as a nutrient pool in boreal forests.

Лиственничные леса занимают около 36% лесопокрытой площади России (Рослесхоз, 2025) с общим запасом древесины в них более 23 млрд м³ (Национальный атлас России, 2003), что эквивалентно 6.5 млрд т углерода (С) или 20% от общего пула С фитомассы лесов страны (Замолодчиков и др., 2018). Доля крупных древесных остатков (КДО) в лиственничных лесах составляют около 37% от общего объема КДО в российских лесах (Shvidenko et al., 2009). Древесина лиственницы характеризуется исходно высокими значениями базисной плотности (Shorohova et al., 2019), содержанием лигнина и экстрактивных веществ (Gierlinger et al., 2002), относительной устойчивостью к разложению дереворазрушающими грибами (Jebrane et al., 2014) и длительным, по сравнению с другими древесными породами, периодом разложения (Shorohova, Kapitsa, 2015; Shorohova et al., 2019). Закономерности динамики биогенных элементов в процессе разложения КДО лиственницы мало изучены, что затрудняет понимание их роли в биогеохимическом круговороте на локальном и глобальном уровнях.

Цель нашего исследования – анализ динамики содержания основных макро- (С, N, Ca, Mg, K) и микроэлементов (Mn, Fe, Na, Cu, Zn) в коре и древесине валежа лиственницы в процессе его разложения. Материал собран в Национальном парке «Водлозерский (Республика Карелия) на западной границе ареала лиственницы архангельской (*Larix archangelica* Laws.). Были подобраны валежные стволы с продолжительностью хроноряд до 90 лет. Датировку валежа осуществляли дендрохронологическими методами (Dynesius, Jonsson, 1991). Класс разложения определяли в соответствии с пятистадийной классификацией (Shorohova, Kapitsa, 2015). Образцы коры и древесины отбирали в нескольких повторностях с двух секций ствола

– основания (0-3 м от основания ствола) и средней и вершинной части (3 м и далее). Контрольные образцы коры и древесины отбирали с живых деревьев. Базисную плотность образцов определяли гидростатическим методом (Полубояринов, 1976). Химический анализ образцов проведен в Центре коллективного пользования «Аналитическая лаборатория» Института леса КарНЦ РАН. Содержание С и N определяли с использованием анализатора CHNS/O Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O, содержание металлов – с помощью атомно-абсорбционных спектрофотометров Shimadzu серий AA-6800 и AA-7000. Содержание элемента на единицу объема рассчитывали умножением его содержания на единицу массы на базисную плотность образца. Статистическую обработку данных, а также создание графических материалов производили в программной среде R (R Core Team, 2025). Зависимости исходных физико-химических характеристик коры и древесины и их динамики от комплекса факторов – класса разложения, фракции, секции и диаметра ствола – определяли с использованием обобщённых линейных моделей (GLM) и многогранового теста Дункана. Оптимальные модели подбирали на основе критериев отношения правдоподобия и информационных критериев Akaike (*AIC*) (рисунок 1).

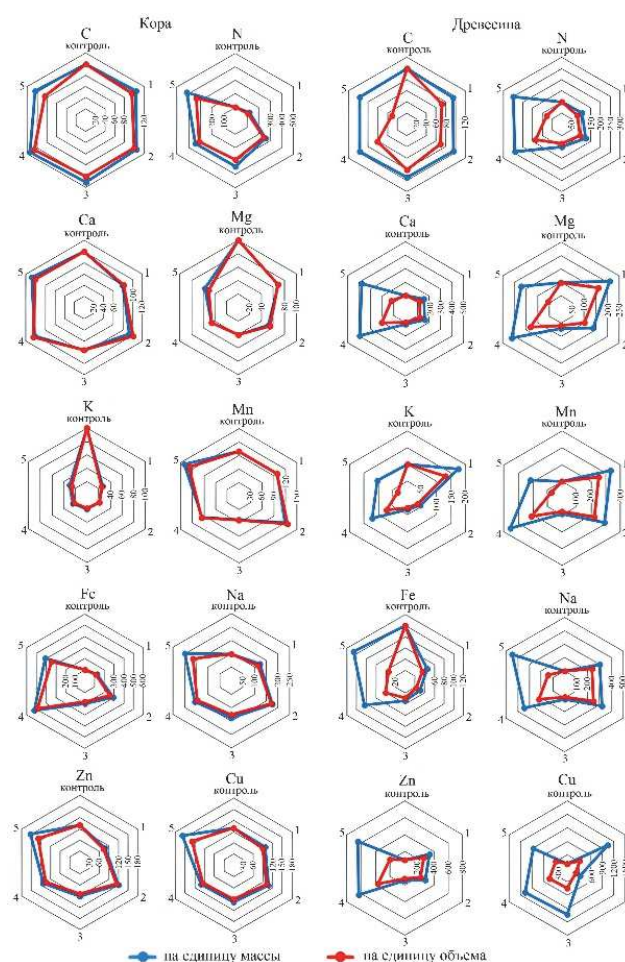


Рис. 1. Динамика содержания макро- и микроэлементов в процессе разложения валежа лиственницы. Показаны средние значения изменения содержания (в расчете на единицу массы и единицу объема) элементов (% от исходного содержания до начала разложения) в коре и древесине валежа разных (1-5) классов разложения и в контроле

Исходное содержание рассматриваемых биогенных элементов различалось между фракциями ствола: содержание N, Ca, Mg, K, Na, Mn, Cu и Zn было выше в древесине, C и Fe – в коре.

В процессе ксилолиза в коре значимо не изменялось содержание C и Ca в расчете как на единицу массы, так и на единицу объема. Содержание других элементов существенно изменялось. Так, в расчете на единицу массы содержание Fe возрастало в 5 раз, N – в 4 раза, Na – в 2 раза, Mn, Zn и Cu – в 1.5 раза. В расчете на единицу объема содержание указанных элементов возрастало в 4.5, 3.5, 1.6 и 1.3 раза, соответственно. Содержание K и Mg снижалось в 3.5 и 2 раза, соответственно, независимо от способа расчета (рис. 1).

В древесине динамика содержания элементов существенно отличалась от таковой в коре. Содержание Ca, Mn и Na возрастало в 3.5-4.5 раза в расчете на единицу массы и лишь двукратно – в расчете на единицу объема. Содержание Zn и Cu возрастало значительно – соответственно в 6.5 и 10 раз в расчете на единицу массы и в 3.5 и 4.5 раза – в расчете на единицу объема. Содержание N и Mg в расчете на единицу массы возрастало в 2-2.5 раза, но практически не изменялось в расчете на единицу объема. Содержание C, K и Fe в расчете на единицу массы значимо не изменялось, но в 3-4 раза снижалось в расчете на единицу объема (рис. 1).

Рассмотрена динамика запасов биогенных элементов (кг м^{-3}) в коре и древесине валежа лиственницы масштабах валежного ствола. Наиболее интенсивная потеря отмечена для K – запасы этого элемента уменьшались со скоростью -0.072 и -0.026 год^{-1} для коры и древесины, соответственно. Запасы C и Mg уменьшались со скоростью -0.064 и -0.018 год^{-1} в коре и древесине, соответственно, запасы Ca, Mn и Fe – -0.055 и -0.009 год^{-1} , соответственно, запасы Zn – -0.052 и -0.006 год^{-1} , соответственно. Запасы N уменьшались только в коре (-0.045 год^{-1}) и оставались постоянными в древесине валежного ствола. Запасы Na лишь незначительно снижались в коре и значимо не изменялись в древесине. Запасы Cu в коре и древесине оставались относительно постоянными.

Фрагментация и опадение коры с поверхности валежа играет существенную роль в динамике его элементного состава и подчеркивает потенциально важную роль этой фракции ствола в обогащении лесной подстилки биогенными элементами. Значительная продолжительность разложения древесины лиственницы, а также аккумуляция и длительное постепенное высвобождение ряда биогенных элементов, в частности N, позволяют рассматривать ее в качестве долговременного пула биогенных элементов в таежных лесах. Транслокация макро- и микроэлементов, осуществляемая дереворазрушающими грибами (Filipiak, 2018), а также фиксация N различными прокариотами, живущими в ассоциации с эпиксильной растительностью (Rousk et al., 2013), определяют условия для сукцессии ксилофильного сообщества, что является одним из важнейших аспектов биологического разнообразия таежных лесов и, как следствие, их устойчивости.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).