

УДК 630*2:582.475

ЗАРУБИНА Лилия Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства факультета агрономии и лесного хозяйства Вологодской государственной молочнохозяйственной академии имени Н.В. Верещагина. Автор 34 научных публикаций, в т. ч. двух монографий

КОНОВАЛОВ Валерий Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 130 научных публикаций, в т. ч. трех монографий

ФЕКЛИСТОВ Павел Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 236 научных публикаций, в т. ч. 6 монографий

КЛЕВЦОВ Денис Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 20 научных публикаций, в т. ч. одной монографии

ДИНАМИКА ДЫХАНИЯ КОРНЕЙ СОСНЫ И ЕЛИ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ

Изучена сезонная динамика дыхания корневых систем сосны и ели в северотаежных фитоценозах в зависимости от состояния водного режима торфяной почвы и светового режима насаждений. Установлено, что в болотных фитоценозах корни древесных растений дышат наиболее слабо в июне, когда затоплен корнеобитаемый слой почвы. После освобождения корней от избытка влаги дыхание корней значительно активизируется. В ельниках и березняках черничных интенсивность дыхания корней относительно велика в период роста вегетативных органов. Ведущим экологическим фактором, оказывающим наибольшее влияние на дыхание корней в этих типах леса, является температура почвы. Выборочные рубки усиливают прогревание почвы и активизируют дыхание корней.

Ключевые слова: дыхание корней ели, дыхание корней сосны, лесорастительные условия, северотаежные фитоценозы.

Введение. Корневая система является важным органом растения. Помимо того, что она поглощает воду и минеральные вещества, в корнях осуществляются разнообразные биохимические процессы, в результате которых образуются важные для растения биологические

соединения, такие как пигменты, некоторые фитогормоны, аминокислоты, алкалоиды и др. [9, 11, 14, 15, 19–21]. Эти активные соединения, транспортируясь в надземную часть, способны осуществлять регуляцию метаболизма во всем дереве. Поэтому считается, что интенсивность

дыхания корневых систем может служить адекватным и достаточно информативным показателем оценки общего состояния растения, его энергетического баланса и продуктивности. Однако для того чтобы правильно оценить реальную величину дыхания корней, необходимо прежде всего выявить все особенности его динамики в зависимости от состояния экологических факторов и их сезонных изменений. В связи с этим комплексные углубленные исследования этих изменений, их количественная оценка имеет важное значение не только для изучения самого процесса дыхания, но и влияния его на продуктивность растения. Научные данные по дыханию корней древесных растений немногочисленны, особенно мало их получено на Севере, что связано с большой трудоемкостью работ по извлечению корней из почвы.

Целью исследования было изучение особенностей сезонной динамики дыхания корней сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* Karst. (*Pinaceae*)) в лесорастительных условиях Севера и выявление наиболее оптимальных условий для их активной работы.

Методы исследования. Исследования проводились в июне–августе в северной и средней подзонах тайги (Лешуконский, Холмогорский и Плесецкий районы Архангельской области) в 120-летнем ельнике осоково-сфагновом, 25-летнем сосняке лишайниковом и 30-летнем сосняке травяно-сфагновом, 53- и 59-летних березняках черничных. Дыхание корней определяли методом Бойсен-Йенсена [1], подробно описанном в работах А.В. Веретенникова, В.Н. Коновалова, А.А. Листова [2, 3, 8], на отделенных от дерева корнях. Многими исследователями подчеркивается, что эндогенный ритм дыхания в соответствии с условиями местопроизрастания сохраняется в течение длительного времени и у корней, отделенных от дерева. При этом не отмечается высокого травматического дыхания даже при сильном их поранении [10, 18]. Это дает возможность получать достоверные данные на этом материале.

Для опыта брали корни из верхнего 10-сантиметрового слоя почвы у елей и сосен, произрастающих группами по 3–5 деревьев. При выделении фракций корней пользовались классификацией А.Я. Орлова и С.П. Кошелькова (1971) [13]. Во фракцию мелких корней мы включали все сосущие корни с диаметром до 1,5 мм; во фракцию проводящих корней – ростовые и проводящие диаметром 1,5–3 мм. Для каждой фракции составляли среднюю пробу от 2–4 деревьев. Корни в марлевых мешочках помещали в конические колбы объемом 250 мм с баритом. Раствор барита титровали раствором щавелевой кислоты [1]. В камеру с колбами монтировали два термометра для измерения температуры. Перед подготовкой опыта корни осторожно откапывали и до помещения их в колбы присыпали свежее выкопанной почвой с целью недопущения их пересыхания. Время экспозиции корней в колбах равнялось 1 ч. Повторность опыта двукратная. Интенсивность дыхания рассчитывали в мг CO_2 за 1 ч на единицу их массы в сухом состоянии.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований динамики дыхания корней сосны и ели в зависимости от условий местопроизрастания и температуры представлены в *табл. 1*. Данные исследований в отдельных типах леса нами приведены в более ранних работах [3, 4, 6, 17].

Из *табл. 1* видно, что в болотных фитоценозах дыхание корней ели и сосны более тесно коррелирует с изменениями водного режима торфяной почвы, чем с изменениями температуры. Выявлено, что связь между дыханием корней и водным режимом почв довольно тесная ($r = 0,97 \pm 0,90$). Так, в июне в ельнике кустарничково-сфагновом во время затопления мелкие корни ели при температуре 20,4 °С дышали с интенсивностью 0,61 мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$, а в июле после освобождения корнеобитаемого горизонта от избытка воды и увеличения аэрации почвы интенсивность их дыхания при такой же температуре возросло почти в три раза, до 1,69 мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$.

**ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ КОРНЕЙ СОСНЫ И ЕЛИ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

Тип местопрорастания									
Ельник кустарничково-сфагновый			Сосняк травяно-сфагновый			Сосняк лишайниковый		Березняк черничный	
t, °C	Уровень грунтовых вод, см	Дыхание мелких/ проводящих корней, мг CO ₂ /(г·ч)	t, °C	Уровень грунтовых вод, см	Дыхание мелких/ проводящих корней, мг CO ₂ /(г·ч)	t, °C	Дыхание мелких/ проводящих корней, мг CO ₂ /(г·ч)	t, °C	Дыхание мелких/ проводящих корней, мг CO ₂ /(г·ч)
14,3	0	$\frac{0,51}{0,37}$	14,0	4	$\frac{0,70}{0,49}$	14,0	$\frac{1,08}{0,70}$	20,9	$\frac{0,87}{0,61}$
11,5	0	$\frac{0,50}{0,38}$	15,2	4	$\frac{0,77}{0,60}$	15,2	$\frac{1,19}{0,79}$	13,4	$\frac{0,39}{0,24}$
10,0	+2	$\frac{0,56}{0,26}$	20,0	6	$\frac{0,88}{0,61}$	20,0	$\frac{1,51}{1,08}$	20,3	$\frac{0,72}{0,63}$
20,4	+1	$\frac{0,61}{0,38}$	17,6	12	$\frac{1,61}{0,99}$	17,6	$\frac{1,28}{0,80}$	20,8	$\frac{0,63}{0,39}$
20,5	10	$\frac{1,69}{0,88}$	24,0	17	$\frac{1,80}{1,19}$	24,0	$\frac{1,38}{0,82}$	16,2	$\frac{0,55}{0,38}$
25,5	12	$\frac{1,60}{0,79}$	20,8	18	$\frac{1,71}{1,09}$	20,8	$\frac{1,10}{0,69}$	19,9	$\frac{0,59}{0,34}$

Примечание. Показатели +1, +2 означают, что уровень грунтовых вод был на 1 или 2 см выше уровня почвы.

Аналогичные данные в связи с особенностями водного режима торфяника нами получены и в сосняке травяно-сфагновом. Освобождение почвы от затопления привело к увеличению работоспособности корней сосны. В данном типе леса при температуре 20,0 °C и уровне грунтовых вод 6 см мелкие корни сосны дышали с интенсивностью 0,88 мг CO₂/(г·ч), а при уровне грунтовых вод 12 см и температуре 17,6 °C интенсивность дыхания их возросла до 1,61 мг CO₂/(г·ч). Различия оказались существенными и статистически значимыми ($t_{\text{факт}} = 5,3-7,2$). Необходимо отметить, что аналогичная динамика дыхания в зависимости от уровня грунтовых вод характерна и для проводящих корней сосны и ели. Однако реакция проводящих корней на изменение водного режима почвы по срав-

нению с мелкими корневыми мочками оказалась менее значимой при достаточно высоком уровне достоверности ($t_{\text{факт}} = 3,9-4,4$). Можно полагать, что повышенная физиологическая активность мелких корней по сравнению с проводящими корнями объясняется повышенным содержанием в них дыхательных ферментов, участвующих в поглощении минеральных солей и воды из почвы, а также более активными процессами деления и растяжения клеток [11, 12, 15]. Более интенсивное дыхание мелких сосудов корней по сравнению с проводящими корнями объясняется еще и тем, что в состав мелких корневых мочек входят только живые ткани, тогда как проводящие корни содержат лишь незначительную часть живых тканей [10, 18].

Пониженная интенсивность дыхания корней ели и сосны при высоких уровнях грунтовых вод в наших опытах связана с неблагоприятным режимом аэрации, т. к. оставался затопленным корнеобитаемый слой почвы [2, 3, 16, 18]. Она могла явиться также результатом ослабленной интенсивности деления и растяжения клеток в меристеме затопленного корня и недостаточной активностью в ней дыхательных ферментов [12, 16].

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что «сброс» излишков воды путем осушения заболоченных почв или опускание почвенно-грунтовых вод ниже корнеобитаемого слоя почвы в сухие периоды приводит к интенсификации процесса дыхания в корнях сосны и ели [2, 3, 16]. Усиление дыхания, в свою очередь, должно было повлечь за собой активизацию и ряда других функций корневых систем, таких как поглощающая, проводящая, синтетическая, и в целом привести к усилению интенсивности роста корней, увеличению активной поглощающей поверхности корневых систем и интенсификации физиолого-биохимической деятельности во всем дереве.

С повышением температуры воздуха в камере выделение CO_2 корнями ели и сосны усиливается, особенно после освобождения их от затопления. При затоплении корнеобитаемого горизонта почвы, что обычно наблюдалось при верховодке и выпадении обильных дождей, несколько снижался эффект, связанный с влиянием повышенных температур на дыхание корней.

Следует отметить, что в рассматриваемых типах леса при всех условиях опыта корни сосны обладали более активным дыханием, чем корни ели. Видимо, это можно объяснить отмечаемым многими исследователями более активным ростом сосны в лесных фитоценозах как быстрорастущей с повышенным метаболизмом древесной породы по сравнению с елью.

Результаты нашего сравнительного анализа данных по дыханию корней сосны и ели на минеральных почвах указывает на более высоко-

кую жизнеспособность корней сосны в сосняке лишайниковом, чем корней ели в березняке черничном. Хотя известно, что по содержанию питательных элементов почвы под сосняками лишайниковыми значительно беднее, чем под березняками черничными, в составе которых содержится мягкий гумус. При одинаковой температуре мелкие и проводящие корни сосны из сосняка лишайникового дышат в 2 раза интенсивнее, чем корни ели из березняка черничного. Так, при температуре 20°C мелкие корни молодой сосны в сосняке лишайниковом в расчете на единицу сухой массы (1 г) при дыхании в течение часа выделяют $1,51 \text{ мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$, а корни молодой ели в березняке черничном при такой же температуре на дыхание расходуют лишь $0,72 \text{ мг CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$, или в 2 раза меньше. Аналогичная динамика интенсивности дыхания в зависимости от типа леса присуща и проводящим корням этих древесных пород.

Наши опыты с экзогенным введением в дерево радиоактивного углерода показали, что в сосняке лишайниковом из кроны в корни сосны поступает больше радиоактивных соединений, чем в корни ели в березняке черничном. В корнях сосны эти активные соединения затем успешнее метаболизируются и быстрее, чем у ели, в виде корневых метаболитов вновь возвращаются в надземную часть. Оказалось, что в 25-летнем сосняке лишайниковом у сосны за 8 суток после подкормки хвои верхушечных мутовок радиоуглекислотой ($^{14}\text{CO}_2 + \text{CO}_2$) в корни поступило более $1,5 \times 10^3$ имп радиоуглеродных метаболитов, а в корнях ели в 53-летнем березняке за этот срок таких соединений накопилось почти в два раза меньше ($0,83 \times 10^3$ имп). Через сутки после подкормки в корнях сосны уже было обнаружено $0,31 \times 10^3$ имп радиоактивного углерода, а в корни ели радиоактивные ассимилянты из кроны к этому сроку еще не поступили [4, 5, 7, 17].

Если сравнить дыхание корней сосны в сосняках травяно-сфагновом и лишайниковом, то можно увидеть, что при нарушенной аэрации (при затоплении) корни сосны в сосняке травяно-сфагновом дышат значительно слабее, чем в

БИОЛОГИЯ

более бедном минеральными солями и хорошо аэрируемом сосняке лишайниковом. После освобождения корнеобитаемого слоя от затопления их дыхание в сосняке травяно-сфагновом становится значительно активнее, чем в сосняке лишайниковом. Однако для ели такая зависимость сезонной динамики дыхания корней от типа леса нами не подтверждена. Из данных *табл. 1* следует, что весной, когда в ельнике кустарничково-сфагновом почва затоплена и корни ели не снабжаются кислородом в достатке, их дыхание остается примерно таким же, как у ели в березняке черничном. Позднее, после освобождения корнеобитаемого слоя от избытка влаги, дыхание ее корней в ельнике кустарничково-сфагновом значительно активизируется и становится почти в три раза интенсивнее, чем в березняке черничном.

Многими исследователями подчеркивается, что цикличность дыхания корней в значительной степени связана с ритмичкой ассимиляционной деятельностью растения [10, 18] и количеством поступающих в них ассимилятов [4, 5, 7, 17]. Подобная связь интенсивности дыхания корней с ассимиляционной деятельностью дерева, количеством поступающих в корни ассимилятов, обнаружена нами у сосны в сосняках лишайниковых [8], у ели в березняках черничных [4, 17] при достаточно высоком уровне значимости. О тесноте связи между этими

двумя процессами, фотосинтезом и дыханием корней у ели, можно судить по данным, представленным в *табл. 2*.

Наиболее активно корни ели дышат на максимально разреженном участке насаждения (74 %) при самом высоком фотосинтезе. На других опытных участках снижение интенсивности фотосинтеза в связи с увеличением плотности насаждения и снижением освещенности сопровождалось уменьшением количества выделяемого корнями CO_2 . Наиболее слабая интенсивность дыхания корней наблюдается в контроле при самом низком фотосинтезе. Опыты с фотосинтетическим введением в дерево экзогенного радиоуглерода показали, что усиление дыхания корней при комплексных уходах является следствием лучшей обеспеченности корней дыхательным материалом (ассимилятами), поступающим в них из кроны. В улучшенных условиях роста (на вырубках) корни становятся активной акцепторной зоной продуктов фотосинтеза, повышая за счет их поступления свою энергетическую активность и работоспособность [4, 17].

Вывод. Установлено, что в болотных сосняках и ельниках корни сосны и ели наиболее слабо дышат в первой половине вегетационного периода, когда затоплен корнеобитаемый слой почвы. В этот период их дыхание значительно слабее, чем дыхание корней

Таблица 2

ИНТЕНСИВНОСТЬ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЕЛИ В 53-ЛЕТНЕМ БЕРЕЗНЯКЕ ЧЕРНИЧНОМ НА ВТОРОЙ ГОД ПОСЛЕ КОМПЛЕКСНЫХ УХОДОВ [17]

Интенсивность рубки, %	Фотосинтез			Дыхание					
				корни			хвоя		
	$M \pm m$, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$	%	t	$M \pm m$, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$	%	t	$M \pm m$, мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$	%	t
Контроль	10,6±1,8	100	–	0,39±0,03	100	–	0,62±0,04	100	–
45	15,1±1,7	143	2,9	0,48±0,02	123	2,3	0,69±0,02	113	1,6
59	17,2±1,9	162	2,4	0,67±0,04	172	4,9	0,71±0,03	115	2,2
74	19,4±1,0	183	4,0	0,72±0,03	185	9,7	0,70±0,04	113	1,9

Примечание. $M \pm m$ – среднее значение с ошибкой, t – достоверность разницы между средними значениями.

в сосняках лишайниковых и березняках черничных. После освобождения от затопления дыхание корней у сосны и ели в болотных биогеоценозах значительно усиливается и становится активнее, чем в сосняках лишайниковых и березняках черничных. Сезонная цикличность дыхания корней древесных растений в фитоценозах на дренированных почвах в сосняках лишайниковых и березняках черничных, прежде всего, обуславливается температурой почвы и количеством поступающего из кроны в корни дыхательного материала. Выборочные рубки усиливают прогревание почвы и тем самым повышают дыхание корней. Активизация дыхания должна повлечь за собой усиление ряда и других функций кор-

невых систем, таких как поглощающая, проводящая, синтетическая, и в целом привести к усилению интенсивности роста, увеличению активной поглощающей поверхности корневых систем и повышению продуктивности насаждений [2, 6, 7, 17].

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют, что для повышения продуктивности насаждений, прежде всего, необходимо активизировать работу корневых систем деревьев. Сброс излишков воды путем осушения заболоченных почв, проведение выборочных рубок в загущенных насаждениях позволяют значительно активизировать работу корневых систем и тем самым повышать продуктивность насаждений [2, 6, 7, 17].

Список литературы

1. Вальтер О.А., Пиневиц Л.М., Варасова Н.Н. Практикум по физиологии растений с основами биохимии. М.; Л., 1957. 341 с.
2. Веретенников А.В. Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве. М., 1968. 216 с.
3. Веретенников А.В., Коновалов В.Н. Влияние осушения на интенсивность дыхания корней *Picea abies* (*Pinaceae*) в ельнике осоково-хвощево-сфагновом северной подзоны тайги // Ботан. журн. 1979. Т. 64. С. 252–254.
4. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Биологические особенности подростка ели в березняках черничных после выборочных рубок // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 8. С. 99–104.
5. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Влияние дозы азота при подкормках на отток ¹⁴C-ассимилятов у сосны в сосняках лишайниковых // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 7–13.
6. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях. Архангельск, 2010. 295 с.
7. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск, 2011. 338 с.
8. Коновалов В.Н., Листов А.А. Влияние условий минерального питания на дыхание корней сосны обыкновенной // Лесн. журн. 1989. № 4. С. 15–19.
9. Курсанов А.Л. Транспорт ассимилятов в растении. М., 1976. 647 с.
10. Мамаев В.В. Суточные изменения интенсивности выделения CO₂ у корневых мочек сосны и березы в природных условиях // Лесоведение. 1983. № 3. С. 33–38.
11. Меняйло Л.Н. Гормональная регуляция ксилогенеза хвойных. Новосибирск, 1987. 185 с.
12. Обручева Н.В. Физиологическая характеристика зон корня // Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений. М., 1964. С. 259–265.
13. Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М., 1971. 323 с.
14. Рубин А.Б., Германова В.Ф. О синтезе пигментов в корнях // Докл. акад. наук СССР. 1959. Т. 124, № 4. С. 940–943.
15. Сабинин Д.А. Физиологические основы питания растений. М., 1955. 474 с.

16. Смоляк Л.П., Реуцкий В.Г. Эколого-физиологические основы мелиорации лесных почв. Минск, 1974. 200 с.
17. Эколого-физиологическое обоснование рубок главного пользования в лесах Европейского Севера / В.Н. Коновалов, Н.И. Вялых, Л.В. Коновалова и др. // Антропогенное влияние на европейские таежные леса России. Архангельск, 1994. С. 38–52.
18. Цельникер Ю.Л. Дыхание корней и его роль в углеродном балансе древостоя // Лесоведение. 2005. № 6. С. 11–18.
19. Mannerkoski H., Miyazawa T. Growth Disturbances and Needle and Soil Nutrient Contents in a NPK-Fertilized Scots Pine Plantation on a Drained Small-Sedge Bog // Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 1983. № 116. 85–91.
20. Michniewicz M., Stopinska J. The Effect of Nitrogen Nutrition on Growth and on Plant Hormones Content in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.) Seedlings Grown Under Light of Different Intensity // Acta Soc. Bot. Pol. 1980. Vol. 45, № 3. P. 221–234.
21. Michniewicz M., Stopinska J. The Effect of Potassium Nutrition on Growth and on Plant Hormones Content in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.) Seedlings // Acta Soc. Bot. Pol. 1980. Vol. 49. № 3. P. 235–244.

References

1. Val'ter O.A., Pinevich L.M., Varasova N.N. *Praktikum po fiziologii rasteniy s osnovami biokhimii* [Workshop on Plant Physiology with the Basics of Biochemistry]. Moscow, Leningrad, 1957. 341 p.
2. Veretennikov A.V. *Fiziologicheskie osnovy ustoychivosti drevesnykh rasteniy k vremennomu izbytku vlagi v pochve* [Physiological Bases of Woody Plants' Resistance to Temporary Excess Moisture in the Soil]. Moscow, 1968. 216 p.
3. Veretennikov A.V., Konovalov V.N. Vliyanie osusheniya na intensivnost' dykhaniya korney *Picea abies* (*Pinacea abies* Karst (Pinaceae) v el'nike osokovo-khvoshchevo-sfagnovom severnoy podzony taygi [The Influence of Drainage on Respiration Rate of *Picea abies* (*Pinacea abies* Karst (Pinaceae) Roots in Sedge-Horsetail-Sphagnum Spruce Forest of the Northern Taiga Subzone]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1979, vol. 64, pp. 252–254.
4. Konovalov V.N., Zarubina L.V. Biologicheskie osobennosti podrosta eli v bereznyakakh chernichnykh posle vyborochnykh rubok [Young Spruce Biological Peculiarities in Bilberry Birch Forests After Selective Cuttings]. *Vestnik KrasGAU*, 2011, no. 8, pp. 99–104.
5. Konovalov V.N., Zarubina L.V. Vliyanie dozy azota pri podkormkakh na ottok ¹⁴C-assimilyatov u sosny v sosnyakakh lishaynikovyykh [Impact of Nitrogen Dose on the ¹⁴C-Assimilates Outflow in Pine Trees at the Lichen Pine Forests]. *Lesnoy zhurnal*, 2012. no. 1, pp. 7–13.
6. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti khvoynykh na osushaemykh zemlyakh* [Ecological and Physiological Features of Conifers on Drained Lands]. Arkhangelsk, 2010. 295 p.
7. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti khvoynykh na udobrennykh pochvakh* [Ecological and Physiological Features of Conifers on Fertilized Soils]. Arkhangelsk, 2011. 338 p.
8. Konovalov V.N., Listov A.A. Vliyanie usloviy mineral'nogo pitaniya na dykhanie korney sosny obyknovennoy [Influence of Mineral Nutrition Conditions on Scots Pine Root Respiration]. *Lesnoy zhurnal*, 1989, no. 4, pp. 15–19.
9. Kursanov A.L. *Transport assimilyatov v rastenii* [Assimilate Transport in Plants]. Moscow, 1976. 647 p.
10. Mamaev V.V. Sutochnye izmeneniya intensivnosti vydeleniya CO₂ u kornevykh mochek sosny i berezy v prirodnykh usloviyakh [Daily Variations in Intensity of CO₂ Emissions from Root Fibrils of Pine and Birch Trees in Natural Conditions]. *Lesovedenie*, 1983, no. 3, pp. 33–38.
11. Menyaylo L.N. *Gormonal'naya regulyatsiya ksilogeneza khvoynykh* [Hormonal Regulation of Xylogenesis in Conifers]. Novosibirsk, 1987. 185 p.

12. Obrucheva N.V. Fiziologicheskaya kharakteristika zon kornya [Physiological Characteristics of Root Zones]. *Rol' mineral'nykh elementov v obmene veshchestv i produktivnosti rasteniy* [Role of Mineral Elements in Plant Metabolism and Productivity]. Moscow, 1964, pp. 259–265.
13. Orlov A.Ya., Koshel'kov S.P. *Pochvennaya ekologiya sosny* [Soil Ecology of Pine Trees]. Moscow, 1971. 323 p.
14. Rubin A.B., Germanova V.F. O sinteze pigmentov v kornyakh [On Pigment Synthesis in the Roots]. *Doklady akademii nauk SSSR*, 1959, vol. 124, no. 4, pp. 940–943.
15. Sabinin D.A. *Fiziologicheskie osnovy pitaniya rasteniy* [Physiological Bases of Plant Nutrition]. Moscow, 1955. 474 p.
16. Smolyak L.P., Reutskiy V.G. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy melioratsii lesnykh pochv* [Ecological and Physiological Bases of Forest Soils Melioration]. Minsk, 1974. 200 p.
17. Konovalov V.N., Vyalykh N.I., Konovalova L.V., et al. Ekologo-fiziologicheskoe obosnovanie rubok glavnogo pol'zovaniya v lesakh Evropeyskogo Severa [Environmental and Physiological Basis of Felling in Forests of the European North]. *Antropogennoe vliyaniye na evropeyskie taezhnyye lesa Rossii* [Man-Made Impact on the Taiga Forests of the European Part of Russian]. Arkhangelsk, 1994, pp. 38–52.
18. Tsel'niker Yu.L. Dykhanie korney i ego rol' v uglevodnom balanse drevostoya [Root Respiration and Its Role in Carbon Balance of Forest Stands]. *Lesovedenie*, 2005, no. 6, pp. 11–18.
19. Mannerkoski H., Miyazawa T. Growth Disturbances and Needle and Soil Nutrient Contents in a NPK-Fertilized Scots Pine Plantation on a Drained Small-Sedge Bog. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 1983, no. 116, pp. 85–91.
20. Michniewicz M., Stopinska J. The Effect of Nitrogen Nutrition on Growth and on Plant Hormones Content in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.) Seedlings Grown Under Light of Different Intensity. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 1980, vol. 45, no. 3, pp. 221–234.
21. Michniewicz M., Stopinska J. The Effect of Potassium Nutrition on Growth and on Plant Hormones Content in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.) Seedlings. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 1980, vol. 49, no. 3, pp. 235–244.

Zarubina Liliya Valeryevna

Faculty of Agronomy and Forest Management,
Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin (Vologda, Russia)

Konovalov Valeriy Nikolaevich

Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Feklistov Pavel Aleksandrovich

Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Klevtsov Denis Nikolaevich

Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

DYNAMICS OF ROOT RESPIRATION IN PINE AND SPRUCE TREES OF NORTHERN TAIGA PLANT COMMUNITIES

The paper studied seasonal dynamics of root system respiration in pine and spruce trees growing in northern taiga plant communities, depending on the moisture regime of the peat soil and on the light conditions in the stand. It was found that in marshy habitats, the roots of woody plants have the weakest

БИОЛОГИЯ

respiration in June, when the root zone is under water. After the roots have been released from excess moisture, their respiration activates significantly. In spruce and birch blueberry forests, root respiration rate is relatively high during the growth of vegetative organs. The main environmental factor having the greatest effect on root respiration in these types of forests is soil temperature. Selective cutting facilitates soil warming up and stimulates root respiration.

Keywords: *root respiration in spruce trees, root respiration in pine trees, forest growth conditions, plant communities of northern taiga.*

Контактная информация:

Зарубина Лилия Валерьевна

адрес: 160555, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, д. 2;

e-mail: kaf_leshoz@mail.ru, Liliva270975@yandex.ru

Коновалов Валерий Николаевич

адрес: 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17;

e-mail: v.konovалov@agtu.ru

Феклистов Павел Александрович

адрес: 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17;

e-mail: feklіstov@narfu.ru

Клевцов Денис Николаевич

адрес: 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17;

e-mail: d.klevtsov@narfu.ru

Рецензент – *Третьяков С.В.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова