

---

---

**КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ  
РАСТЕНИЙ**

---

---

УДК 581.543:577.112:582.091-145

**СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ  
И СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ В ПОЧКАХ  
НЕКОТОРЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ**© 2019 г. Г. Н. Табаленкова<sup>1</sup>, \*, Р. В. Малышев<sup>1</sup>, О. А. Кузванова<sup>1</sup>, М. С. Атоян<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия<sup>2</sup>Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,  
Сыктывкар, Россия

\*e-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 12.04.2018 г.

После доработки 14.05.2018 г.

Принята к публикации 16.07.2018 г.

Приведены результаты исследований сезонной динамики азотсодержащих соединений в почках древесных растений (*Betula pendula*, *Syringa josikaea*, *Aronia melanocarpa*, *Acer campestre*) в состоянии покоя и весной при потере устойчивости к отрицательным температурам. Выявлено, что одновременно с повышением морозоустойчивости почек наблюдается изменение в метаболизме азотсодержащих соединений. Увеличение концентрации растворимых белков и свободных аминокислот в почках в зимний период позволяет снизить риск повреждения клеточных структур при действии отрицательных температур. Установлено, что смена фенологического состояния деревьев при переходе от покоя к вегетации сопровождается изменениями аминокислотного состава почек. Обнаружены видоспецифичные по составу аминокислот различия почек исследуемых растений.

*Ключевые слова:* почки, меристематические ткани, аминокислоты, низкотемпературная устойчивость, покой, *Betula pendula*, *Syringa josikaea*, *Aronia melanocarpa*, *Acer campestre*

DOI: 10.1134/S0033994619010126

Почка растения представляет собой зачаток побега с конусом нарастания на вершине. На конусе нарастания снизу вверх формируются зачатки листьев, которые растут неравномерно, тем самым обуславливая появление темного и влажного замкнутого пространства внутри почки, что обеспечивает защиту внутренней части от высыхания и повреждений. Снаружи почки обычно покрыты плотными чешуйками, которые являются видоизмененными листьями и защищают их от повреждений и холода [1]. Для большинства древесных растений характерны периоды покоя, что является не только приспособлением к существованию в неблагоприятных условиях среды, но и необходимым звеном онтогенеза растений, предотвращает преждевременную инициацию роста весной и повреждения побегов при возврате холодов [2, 3]. Различают вынужденный покой, причинами которого являются неблагоприятные условия внешней среды, и глубокий (органический), вызванный эндогенными факторами. Сигналом для вступления древесных и кустарниковых растений в состояние органического покоя является сокращение длины светового дня и снижение температуры [2]. Покоящиеся почки характеризуются отсутствием внешних признаков роста, высокой устойчивостью к обезвоживанию и неблагоприятным воздействиям среды, в первую очередь, к отрицательным температурам. Во многом этому способствует накопление в

почках ингибиторов роста и защитных веществ. Процесс перехода растений в состояние глубокого покоя сопровождается комплексом структурных и функциональных перестроек, обеспечивающих их сохранение в осенне–зимний период [2, 4]. Особо чувствительны к отрицательным температурам меристематические ткани почек листопадных деревьев и кустарников [5]. Сохранение их жизнеспособности в этот период во многом связано с содержанием внутриклеточной воды и биохимическими превращениями в меристемах. Снижение активности метаболических процессов в осенний период сопровождается образованием ряда соединений, необходимых для сохранения клеточных структур при действии отрицательных температур [4, 6].

Видовой состав древесных растений Республики Коми представлен 101 видом, из них только 45 пригодны для озеленения рекреационных зон [7]. Для расширения ассортимента древесных растений, используемых в озеленении северных городов необходимо привлечение видов из других флористических районов.

В Ботаническом саду Института биологии Коми НЦ УрО РАН на испытании находятся древесные растения из разных регионов, некоторые из них рекомендованы для озеленения. Успешнее всего используются близкородственные виды, присутствующие в региональной флоре, например, курильский чай, разные виды калины и рябины.

Решающим фактором, определяющим успешность культивирования инорайонных пород, является тепловой режим вегетационного периода и в первую очередь минимальные температуры, которые могут переносить интродуценты. Однако, несмотря на достигнутые успехи в области изучения холодостойкости и морозоустойчивости древесных растений, выявление причин гибели или выживания в зимний период сохраняет свою актуальность. Особенно это касается низкотемпературной устойчивости почек листопадных деревьев и кустарников наиболее часто используемых в озеленении. Существенная роль в низкотемпературной адаптации почек принадлежит азотсодержащим соединениям, в том числе, аминокислотам [6, 8].

Целью работы было выявление сезонных изменений аминокислотного состава, содержания растворимого белка и общего азота в почках разных по морозоустойчивости древесных растений.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Климатические условия района проведения исследований (подзона средней тайги) характеризуется умеренно-континентальным климатом с холодной и продолжительной зимой. Частое вторжение арктических масс воздуха сопровождается резкими похолоданиями, при которых температура воздуха может опускаться до минус 30–40 °С. Начало безморозного периода со средней суточной температурой выше 0 °С наступает в середине апреля, а переход через +5 °С наблюдается в начале мая.

В качестве модельных объектов были выбраны четыре вида древесных растений, произрастающих в Ботаническом саду Института биологии. *Betula pendula* Roth – вид местной флоры, обладающий высокой морозоустойчивостью. Интродуценты *Syringa josikaea* Jacq. и *Aronia melanocarpa* (Michx) Elliott – виды, редко подмерзающие в зимний период и рекомендованные для озеленения северных городов. *Acer campestre* L. – вид не морозоустойчивый, часто подмерзает, в условиях интродукции представлен невысоким широким кустарником [7, 9]. Опыты проводили в 2015–2016 гг. Пробы отбирали в период с ноября по апрель. Вегетативные почки срезали с 10 растений каждого вида, фиксировали жидким азотом и высушивали лиофильно. Растворимый белок определяли по Брэдфорду [10]. Свободные аминокислоты извлекали 40%-ным этанолом и определяли на анализаторе “AAA-400” (Чехия) в системе литиевых буферов. Качественный состав и количественное содержание белковых аминокислот определяли на аминокислотном анализаторе (AAA T-339) после гидролиза навески в 6 н HCl при 105 °С в течение 24 ч. Содержания общего азота определяли с помощью элементного CHNS-O

**Таблица 1.** Длина вегетативных почек древесных растений в осенне-весенний период (мм)  
**Table 1.** Length of vegetative buds of woody plants in autumn-spring period (mm)

Сроки отбора проб Sampling period	<i>Betula pendula</i>	<i>Aronia melanocarpa</i>	<i>Syringa josikaea</i>	<i>Acer campestre</i>
Ноябрь November	4.4 ± 0.3	8.6 ± 0.3	3.2 ± 0.2	2.7 ± 0.1
Январь January	4.5 ± 0.2	8.8 ± 0.4	3.9 ± 0.4	3.2 ± 0.1
Март March	5.9 ± 0.3*	9.4 ± 0.3	4.9 ± 0.3*	3.3 ± 0.2*

Примечание. \* – различия между длиной почек в ноябре и марте значимы на уровне  $P < 0.05$ .  
 Note. \* – November and March bud length difference is significant at  $P < 0.05$ .

**Таблица 2.** Содержание общего азота в почках древесных растений, мг/г сухой массы  
**Table 2.** Total nitrogen content in the buds of woody plants, mg/g dry weight

Сроки отбора проб Sampling period	<i>Betula pendula</i>	<i>Aronia melanocarpa</i>	<i>Syringa josikaea</i>	<i>Acer campestre</i>
Ноябрь November	17 ± 3	24 ± 4	18 ± 3	19 ± 3
Январь January	13 ± 2	23 ± 4	21 ± 4	20 ± 4
Март March	14 ± 2	22 ± 4	17 ± 3	20 ± 4
Апрель April	23 ± 4*	40 ± 3*	30 ± 2*	27 ± 2

Примечание. \* – различия между содержанием общего азота в ноябре и апреле значимы на уровне  $P < 0.05$ .  
 Note. \* – November and April total nitrogen difference is significant at  $P < 0.05$ .

анализатора "EA-111" (Италия). Данные в таблицах представлены как среднее арифметическое со стандартной ошибкой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период ноябрь–январь достоверных изменений линейных размеров почек не выявлено, что косвенно указывает на состояние глубокого покоя. Длина вегетативных почек повышалась к началу марта, наиболее заметно у *B. pendula* (табл. 1).

Исследованные виды отличались по содержанию в почках общего азота. Наименьшим количеством азота характеризовались почки *B. pendula*, наибольшим – почки *A. melanocarpa* (табл. 2). Следует отметить, что с ноября по март у всех видов содержание азота в почках изменялось незначительно и резко возрастало (в 1.4–1.7 раза) к концу апреля. Существенная часть общего азота в почках представлена белковым азотом. У *B. pendula* его содержание достигало 83% общего азота.

При падении температуры ниже 0 °С в клетках могут образовываться кристаллы льда, вызывающие механические повреждения [11]. Для предотвращения образования кристаллов льда в тканях растений синтезируется значительное количество криопротекторных соединений (аминокислот, сахаров, растворимых белков). В ряде работ было отмечено значительное увеличение содержания растворимых белков в период околонулевых температур [12, 13]. Согласно нашим данным в ноябре почки *S. josikaea* содержали в 1.5–2 раза больше растворимого белка, чем другие виды (табл. 3). На фоне отсутствия видимых признаков роста, к середине зимы содержание растворимого белка в почках

**Таблица 3.** Содержание растворимого белка в почках древесных растений, мг/г сухой массы  
**Table 3.** Soluble protein content in buds of woody plants, mg/g dry weight

Дата отбора проб Sampling period	<i>Betula pendula</i>	<i>Aronia melenocarpa</i>	<i>Syringa josikaea</i>	<i>Acer campestre</i>
Ноябрь November	2.0 ± 0.2	1.5 ± 0.1	5.4 ± 0.1	2.4 ± 0.1
Январь January	5.5 ± 0.1*	2.3 ± 0.2*	4.7 ± 0.2	5.0 ± 0.2*
Март March	6.5 ± 0.3*	3.4 ± 0.3*	6.6 ± 0.2*	4.4 ± 0.3
Апрель April	7.3 ± 0.4	5.4 ± 0.8*	10.6 ± 1.1*	5.6 ± 0.1*

Примечание. \* – различия между содержанием растворимого белка в ноябре и январе значимы на уровне  $P < 0.05$ .  
 Note. \* – November and January soluble protein content difference is significant at  $P < 0.05$ .

*B. pendula*, *A. melenocarpa* и *A. campestre* заметно увеличивалось. Максимальное его увеличение (в 2.7 раза) наблюдалось в почках *B. pendula*. Это согласуется с данными некоторых авторов [14], отмечавших, что у устойчивых к низким температурам растений синтез растворимых белков идет интенсивнее, чем у неустойчивых. Следует сказать, что содержание растворимого белка в почках *S. josikaea* к январю возрастало незначительно. Смена фенологической фазы развития дерева, связанная с утратой морозоустойчивости и наступлением периода вегетации сопровождалось дальнейшим накоплением растворимого белка. К концу апреля его содержание в почках было в 2–3 раза больше, чем в ноябре, что связано с активацией метаболизма.

Исследования показали, что суммарное содержание аминокислот, входящих в состав белков, определяется в большей степени фенологической фазой развития дерева, чем видовой принадлежностью. В период покоя содержание белковых аминокислот варьировало в пределах 75–97 мг/г сухой массы. В январе на долю белковых аминокислот приходилось более 80% общего азота у *B. pendula* и около 60% общего азота у остальных видов. В составе белков было обнаружено 17 аминокислот. Из них 25–30% от их суммарного содержания приходится на глутаминовую и аспарагиновую кислоты, и более 30% на неполярные аминокислоты (глицин, аланин, валин, лейцин, изолейцин). С возобновлением ростовых процессов (апрель) суммарное содержание белковых аминокислот возрастала в 1.3–1.9 раза, в основном за счет аспарагиновой и глутаминовой кислот (табл. 4).

Одними из наиболее широко распространенных в высших растениях метаболитов, обладающих полифункциональным биологическим эффектом, являются свободные аминокислоты. Образуюсь в процессе фотосинтеза или в результате синтетической деятельности корней, они в дальнейшем участвуют в разнообразных биохимических процессах. Свободные аминокислоты обладают также осмопротекторными свойствами. В почках исследуемых растений было обнаружено два амида и 18–20 свободных аминокислот, 11 из них в концентрациях менее 1% от суммы всех аминокислот (табл. 5). В состав свободных аминокислот входили 5 непротеиногенных:  $\alpha$ -аминоадипиновая кислота,  $\gamma$ -аминомасляная, цистатионин, цитруллин и орнитин. Их доля в составе свободных аминокислот составляла в ноябре–январе 8–12% у *B. pendula*, 5% у *S. josikaea* и не превышала 2% у *A. campestre* и *A. melenocarpa*. Обнаружены достоверные видоспецифичные различия не только по суммарному содержанию непротеиногенных аминокислот, но и их составу. Только в почках *B. pendula* присутствовала непротеиногенная аминокислота цитруллин, ее содержание повышалось в весенний период (март) с увеличением интенсивности солнечной радиации. Предполагается, что на-

**Таблица 4.** Содержание белковых аминокислот в почках древесных растений, мг/г сухой массы  
**Table 4.** Content of protein amino acids in buds of woody plants, mg/g dry weight

Аминокислоты Amino acids	<i>Betula pendula</i>			<i>Syringa josikaea</i>			<i>Acer campestre</i>			<i>Aronia melenocarpa</i>		
	Месяц Month											
	11	1	4	11	1	4	11	1	4	11	1	4
Аспарагиновая Aspartic	8.8	8.4	11.9	8.2	10.6	15.1	8.9	9.2	14.4	10.2	9.2	21.7
Треонин Threonine	4.1	4.0	5.3	4.0	5.4	6.6	4.3	4.7	6.5	5.1	4.8	9.5
Серин Serine	4.5	4.1	5.8	5.1	5.3	7.2	4.8	4.4	8.1	5.2	4.7	10.5
Глутаминовая Glutamic	10.4	10.6	13.6	10.2	13.0	22.4	10.6	13.3	21.8	12.4	10.8	25.7
Пролин Proline	2.7	3.9	6.0	5.6	3.4	8.5	10.5	3.0	8.4	4.8	3.0	1.0
Глицин Glycine	5.4	5.3	6.2	4.8	6.7	7.1	5.4	5.5	7.8	6.0	5.5	1.0
Аланин Alanine	4.7	4.6	6.3	4.5	5.7	8.0	4.7	5.0	7.9	6.1	5.4	11.2
Валин Valine	4.4	4.0	6.1	4.1	5.0	7.9	5.9	4.9	7.3	5.5	5.6	9.8
Лейцин Leucine	6.1	6.1	8.7	5.7	8.0	10.8	7.7	6.8	10.1	7.1	7.6	15.1
Изолейцин Isoleucine	3.4	3.4	4.8	3.4	4.3	6.2	3.6	3.6	5.5	4.3	4.0	7.5
Цистин Cystine	0.2	0.2	0.1	0.3	0.5	0.6	0.8	0.3	0	0.4	0.2	0
Метионин Methionine	0.6	0.5	0.1	0.4	0	0.6	0.8	0.8	0.4	0.2	0.6	0.1
Тирозин Tyrosine	2.7	2.9	3.9	2.8	3.5	4.6	3.3	3.1	4.0	3.7	2.6	5.5
Фенилаланин Phenylalanine	3.1	3.2	4.5	3.0	3.8	5.6	3.1	3.3	5.2	4.2	3.4	7.5
Гистидин Histidine	2.1	2.1	2.6	1.5	2.0	2.7	2.1	2.3	3.0	2.1	1.9	4.2
Лизин Lysine	7.5	7.0	10.8	7.0	10.5	13.2	7.4	8.3	12.2	7.3	7.2	17.1
Аргинин Arginine	4.6	5.4	6.4	4.4	5.7	8.0	3.8	4.3	6.9	10.9	9.7	17.3
Суммарное содержани аминокислот Total amino acids	75.2	75.8	103.0	75.2	93.4	135.0	87.5	82.6	129.0	95.5	86.2	186.6

Примечание. 11, 1, 4 – ноябрь, январь, апрель соответственно.  
 Note. 11, 1, 4 – November, January, April respectively.

**Таблица 5.** Содержание свободных аминокислот в почках древесных растений, % от суммы аминокислот  
**Table 5.** Content of free amino acids in buds of woody plants, % of total amino acids

Аминокислоты Amino acids	<i>Betula pendula</i>				<i>Syringa josikaea</i>				<i>Aronia melenocarpa</i>				<i>Acer campestre</i>			
	Месяц Month															
	11	1	3	4	11	1	3	4	11	1	3	4	11	1	3	4
Аспарагиновая Aspartic	2.2	1.1	5.0	5.0	13.7	6.8	15.0	3.1	1.8	1.1	3.3	0	4.9	1.8	4.8	1.3
Треонин Threonine	1.6	0.9	1.1	1.1	3.6	3.2	2	0.5	0.4	0.4	0.7	4.7	2.1	1.5	1.0	1.1
Серин Serine	2.2	2.3	3.0	3.7	5.5	4.8	4.5	0.7	2.5	2.2	2.8	4.1	2.7	1.9	1.9	8.1
Аспарагин Asparagine	0.7	0.6	0.8	7.4	0	2.4	0.9	0.5	3.2	2.7	3.1	14.6	8.0	6.0	4.0	1.6
Глютаминовая Glutamic	4.3	4.4	4.8	10.5	15.2	8.9	16.9	3.8	6.0	3.8	5.7	10.3	4.2	3.4	5.4	3.9
Глутамин Glutamine	8.8	5.4	8.3	21.9	10.8	20.4	28.7	86.3	4.0	6.5	12.7	27.0	21.5	29.1	27.0	69.6
Пролин Proline	2.0	1.5	5.0	9.4	4.3	2.7	1.6	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	36.8	38.0	44.5	6.1
Глицин Glycine	1.1	0.9	1.0	0.2	1.6	2.4	1	0.03	2.0	0.4	0.5	0.2	1.0	0.7	0.6	0.3
Аланин Alanine	2.4	2.6	1.7	2.1	11.4	8.5	3.6	0.9	1.4	2.3	0.8	2.8	3.2	4.5	2.0	2.1
Цитруллин Citrulline	3.7	1.7	8.4	15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Валин Valine	7.9	8.1	7.9	6.8	6.7	7.4	6.5	0.8	2.5	2.8	2.9	2.9	2.5	2.2	1.6	1.3
Лейцин Leucine	1.4	0.8	1.1	0.8	4.5	4.3	2.6	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	1.0	0.7	0.6	0.3
Тирозин Tyrosine	0.9	0.9	0.9	0.7	1.5	2.1	1.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.7	0.6	0.4	0.1
Фенилаланин Phenylalanine	1.6	1.4	1.4	1.2	1.5	2.6	1.2	0.1	0.4	0.4	0.5	0.6	1.0	0.7	0.5	0.2
γ-аминомасляная γ-aminobutyric	7.9	5.6	2.5	2.1	5.0	5.0	0.4	0.1	0.5	2.4	0.1	0.7	1.2	2.1	0.6	0.4
Лизин Lysine	3.8	2.0	2.4	1.1	4.1	5.2	1.7	0.1	1.3	0.7	0.8	0.6	2.5	1.8	1.2	0.6
Аргинин Arginine	44.7	57.3	41.3	7.7	8.2	9.3	10.6	1.8	72.1	71.4	63.1	29.2	4.6	3.8	2.8	1.8

Примечание. В таблице представлены аминокислоты, содержание которых больше 1% от суммарного содержания аминокислот. 11, 1, 3, 4 – ноябрь, январь, март, апрель соответственно.

Note. The table shows amino acids exceeding 1% of total amino acids. 11, 1, 3, 4 – November, January, March, April respectively.

копление цитрулина важно для устойчивости к повышенной освещенности, поскольку цитруллин является самым сильным гасителем гидроксильных радикалов, образующихся при высокой инсоляции [15, 16]. Период глубокого покоя (ноябрь–декабрь) характеризуется накоплением в почках аргинина, пролина и других аминокислот. В этот период в почках наименее устойчивых видов *A. campestre* и *A. melenocarpa* суммарное содержание свободных аминокислот было почти в 6 раз выше, чем у более

устойчивых *B. pendula* и *S. josikaea*. Анализ состава свободных аминокислот показал, что у *A. campestre* основную долю (около 40%) составлял пролин. Пролин является одним из самых широко распространенных в высших растениях метаболитов, обладающих полифункциональным биологическим эффектом [17], способным значительно уменьшать повреждающее действие низких температур. На долю аргинина у *B. pendula* и *A. telenocarpa* приходилось соответственно 45–57% и свыше 70% всех свободных аминокислот (табл. 5). Аргинин – самая богатая по содержанию азота в молекуле кислота, которая может служить соединением, связывающим избыток азота. Благодаря способности аргинина замедлять гидролиз белков, в период покоя он, вероятно, препятствует распаду запасных и защитных белков в почках до наступления благоприятных для роста условий. Почки *S. josikaea* в осенне-зимний период отличались наименьшим содержанием свободных аминокислот, основную долю составляли аспарагиновая и глутаминовая кислоты.

С возобновлением ростовых процессов связаны изменения в аминокислотном составе почек. У всех видов отмечали увеличение содержания в почках свободных аминокислот, наиболее выраженное у интродуцентов. Накопление свободных аминокислот в значительной степени обусловлено увеличением содержания аспарагиновой и глутаминовой аминокислот и их амидов. По-видимому, в этот период происходят превращения запасных белковых веществ, высвобождение азота в виде свободных аминокислот и подготовка к началу роста. Важно также отметить, что аспарагин и глутамин играют важную роль в качестве резерва, необходимого для осуществления реакций ферментативного переаминирования. Снижение содержания пролина и аргинина весной в 3–6 раз косвенно указывает на их участие в обеспечении низкотемпературной устойчивости меристематических тканей.

Для всех исследованных древесных растений выявлена высокая положительная корреляция ( $r = 0.9$ ) между содержанием в почках свободных, связанных аминокислот и количеством в них общего азота, а также между содержанием растворимого белка и свободных аминокислот ( $r = 0.74$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сезонные изменения метаболизма азотсодержащих соединений в почках древесных растений являются важным компонентом комплексной адаптивной реакции, направленной на повышение морозоустойчивости. Увеличение концентрации растворимых белков и свободных аминокислот в почках позволяет снизить риск повреждения клеточных структур отрицательными температурами в зимний период. Выявлена видоспецифичность в содержании аминокислот: почки *A. campestre* характеризовались высокой долей пролина, *S. josikaea* и *A. telenocarpa* – аланина, а *B. pendula* –  $\gamma$ -аминомасляной кислоты.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках тем ГР АААА-А18-118012290132-0 “Фототрофные организмы как компонент живой природы и индикатор климатических изменений”; ГР0414-2016-0001 “Физиология и стресс-устойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебрякова Т.И., Воронин Н.С., Еленевский А.Г., Батыгина Т.Б., Шорина Н.И., Савиных Н.П. 2006. Ботаника с основами фитоценологии. Анатомия и морфология растений. М. 543 с.
2. Туманов И.И. 1979. Физиология закаливания и морозостойкости растений. М. 352 с.

3. *Myking T.* 1998. Interrelations between respiration and dormancy in buds of three hardwood species with different chilling requirements for dormancy release — *Trees*. 12(4): 224–229. <https://doi.org/10.1007/s004680050144>
4. *Алаудинова Е.В., Симкина С.Ю., Миронов П.В.* 2010. Водорастворимые вещества меристем почек *Picea obovata* L. и *Pinus sylvestris* L.: содержание, состав и свойства при формировании состояния низкотемпературной устойчивости. — *Сиб. экол. журн.* 2: 327–333.
5. *Sakai A., Larcher W.* 1987. Frost survival of plants. Berlin; N.Y. 338 p.
6. *Алаудинова Е.В., Миронов П.В.* 2017. Свободные аминокислоты вегетативных органов *Picea obovata* L. и *Pinus sylvestris* L. — *Химия раст. сырья*. 3: 85–91.
7. *Скупченко Л.А., Мишуров В.П., Волкова Г.А., Портнягина Н. В.* 2003. Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми (Итоги работы Ботанического сада за 50 лет; Т. III). СПб. 214 с.
8. *Симкина С.Ю., Алаудинова Е.В.* 2009. Состав свободных аминокислот зимующих и набухающих меристем почек *Pinus sylvestris* L. — *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 23: 134–136.
9. *Мартынов Л.Г.* 2012. О перезимовке древесных растений в ботаническом саду Института биологии Коми научного центра в 2009–2010 гг. *Изв. — Коми НЦ УрО РАН*. 3(11): 46–51.
10. *Bradford M.M.* 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. — *Anal. Biochem.* 72(1–2): 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
11. *Самыгин Г.А.* 1974. Причины вымерзания растений. М. 147с.
12. *Климов С.В.* 2001. Пути адаптации растений к низким температурам. — *Успехи соврем. биологии*. 121(1): 3–22.
13. *Трунова Т.И.* 2007. Растение и низкотемпературный стресс. 64-е Тимирязевское чтение. М. 57 с.
14. *Карасев Г.С., Нарлева Г.И., Яценко И.А.* 1992. Биосинтез белка при адаптации озимых злаков в связи с их морозостойкостью. — В сб.: *Влияние внешних факторов на устойчивость, рост и развитие растений*. Петрозаводск. С. 32–51.
15. *Akashi K., Miyake C., Yokota F.* 2001. Citrulline, a novel compatible solute in drought-tolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger. — *FEBS Lett.* 2001. 508(3): 438–442. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(01\)03123-4](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(01)03123-4)
16. *Ибрагимова С.С., Горелова В.В., Кочетов А.В., Шумный В.К.* 2010. Роль различных метаболитов в формировании стрессоустойчивости растений. — *Вестн. Новосибирского гос. ун-та. Серия биология, клин. медицина*. 8(3): 98–103.
17. *Кузнецов В.В., Шевякова Н.И.* 1999. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм регуляция. *Физиология растений*. 46 (2): 321–336.

### Seasonal Changes in Soluble Protein and Free Amino Acid Content in Buds of Some Woody Plants

G. N. Tabalenkova<sup>a,\*</sup>, R. V. Malyshev<sup>a</sup>, O. A. Kuzivanova<sup>a</sup>, M. S. Atojan<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Biology of Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia*

<sup>b</sup>*Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia*

\*e-mail: [tabalenkova@ib.komisc.ru](mailto:tabalenkova@ib.komisc.ru)

**Abstract**—Seasonal dynamics of nitrogen-containing compounds in woody plant buds (*Betula pendula*, *Syringa josikaea*, *Aronia melanocarpa*, *Acer campestre*) in dormancy and spring dehardening have been examined. It has been observed that changing metabolism of nitrogen-containing compounds in buds in autumn and winter is a complex adaptive reaction that increases cold hardiness. Winter increase in accumulation of soluble proteins and free amino acids in buds reduces risk of cellular damage under freezing temperatures. It has been established that transition from dormancy to growth is accompanied by changes in the amino acid composition of buds. Species-specific differences in amino acid composition of buds have been found.

**Keywords:** buds, meristematic tissues, amino acids, cold hardiness, dormancy, *Betula pendula*, *Syringa josikaea*, *Aronia melanocarpa*, *Acer campestre*.



## ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out within the framework of grants “Phototrophic organisms as components of nature and indicators of climatic changes” (AAAA-A18-118012290132-0); “Physiology and stress tolerance of photosynthesis of plants and poikilohydric photoautotrophs in the North” (AAA-A17-117033010038-7).

## REFERENCES

1. Serebryakova T.I., Voronin N.S., Elenevskiy A.G., Batygina T.B., Shorina N.I., Savinykh N.P. 2006. Botanika s osnovami fitotsenologii. Anatomiya i morfologiya rasteniy [Botany with basics of phytocoenology. Anatomy and morphology of plants]. Moscow. 543 p. (In Russian)
2. Tumanov I.I. 1979. Fiziologiya zakalivaniya i morozostoykosti rasteniy [The physiology of hardening and frost resistance of plants]. Moscow. 352 p. (In Russian)
3. Myking T. 1998. Interrelations between respiration and dormancy in buds of three hardwood species with different chilling requirements for dormancy release. — *Trees*. 12(4): 224–229. <https://doi.org/10.1007/s004680050144>
4. Alaudinova E.V., Simkina S.Yu., Mironov P.V. 2010. Water-soluble substances of bud meristem of *Picea obovata* L. and *Pinus sylvestris* L.: concentrations, composition and properties during the formation of the state of low-temperature stability. — *Contemp. Probl. Ecol+*. 3(2): 236–240. <https://doi.org/10.1134/S1995425510020153>
5. Sakai A., Larcher W. 1987. Frost survival of plants. Berlin. N.-Y. 338 p.
6. Alaudinova E.V., Mironov P.V. 2017. Free amino acids in vegetative organs of *Picea obovata* L. and *Pinus sylvestris* L. — *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*. 3: 85–91. (In Russian)
7. Skupchenko L.A., Mishurov V.P., Volkova G.A., Portnyagina N.V. 2003. Introduktsiya poleznykh rasteniy v podzone sredney taygi Respubliki Komi: Itogi raboty Botanicheskogo sada za 50 let; T. III [Introduction of useful plants in middle taiga sub-zone of Komi Republic: Record of botanical garden for 50 years: V. III]. SPb. 214 p. (In Russian)
8. Simkina S.Yu., Alaudinova E.V. 2009. Sostav svobodnykh aminokislot zimuyushchikh i nabukhayushchikh meristem pochek *Pinus sylvestris* L. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 23: 134–136. (In Russian)
9. Martynov L.G. 2012. About the wintering of woody plants in the botanical garden of the Institute of Biology, Komi science centre, in 2009–2010. — *Izv. Komi nauchnogo centra UrO RAN*. 3(11): 46–51. (In Russian)
10. Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. — *Anal. Biochem*. 72(1–2): 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
11. Samygin G.A. 1974. Prichiny vymerzaniya rasteniy [The causes for winterkill of plants]. Moscow. 147 p. (In Russian)
12. Klimov S.V. 2001. Puti adaptatsii rasteniy k nizkim temperaturam [Pathways of plant adaptation to low temperatures]. — *Uspekhi sovremennoy biologii*. 121(1): 3–22. (In Russian)
13. Trunova T.I. 2007. Rasteniye i nizkotemperaturnyy stress [Plants and low temperature stress]. 64-e Timiryazevskoye chteniye. Moscow. 57 p. (In Russian)
14. Karasev G.S., Narleva G.I., Jacenko I.A. 1992. Biosintez belka pri adaptatsii ozimyykh zlakov v svyazi s ikh morozostoykostyu [Biosynthesis of protein under adaptation associated with freezing tolerance in winter cereals]. — In: *Vliyaniye vneshnikh faktorov na ustoychivost, rost i razvitiye rasteniy*. Petrozavodsk. P. 32–51. (In Russian)
15. Akashi K., Miyake C., Yokota F. 2001. Citrulline, a novel compatible solute in drought-tolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger. — *FEBS Lett*. 2001. 508(3): 438–442. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(01\)03123-4](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(01)03123-4)
16. Ibragimova S.S., Gorelova V.V., Kochetov A.V., Shumnyy V.K. 2010. Role of plant metabolites in mechanisms of stress tolerance. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*. — Ser. biologiya, klinicheskaya meditsina. 8(3): 98–103. (In Russian)
17. Kuznetsov V.V., Shevyakova N.I. 1999. Proline under stress: biological role, metabolism and regulation. — *Russ. J. Plant. Physl+*. 46(2): 274–287. (In Russian)