

## СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПОВРЕЖДЕННОСТЬ РАЗНЫХ ФОРМ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОГО ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

С.Н. Тарханов, Ю.Е. Аганина, А.С. Пахов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Российской академии наук, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23

julja-a30@rambler.ru

Исследована сезонная динамика биохимических показателей хвои в вегетационный период 2014 г. у форм сосны обыкновенной, различающихся типом апофиза семенных чешуй (*f. plana*, *f. gibba*), в условиях длительного избыточного увлажнения почв северной тайги в устье Северной Двины. Дана оценка степени повреждения и потери хвои на побегах разного возраста, а также оценка состояния деревьев в целом. В северной тайге устья Северной Двины сосна с выпуклым типом апофиза семенных чешуй в возрасте 60–80 лет в среднем характеризуется меньшей степенью повреждения и потери хвои, чем форма с плоским типом апофиза. Деревья сосны с «плоским» типом апофиза имеют более высокий индекс повреждения. Сентябрь 2014 г. отличался более высокой температурой по сравнению со среднемноголетними данными. В связи с этим синтез хлорофиллов продолжался осенью и происходила стабилизация накопления пролина. Увеличение содержания аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы осенью свидетельствует об окислительном стрессе. В этот период наблюдается повышение содержания протекторных соединений — каротиноидов и стрессовых белков. Установлено сходство в характере сезонной изменчивости биохимических показателей у разных форм сосны на верховых торфяных почвах. В то же время выявлено, что в начале линейного роста побегов сосна с выпуклым типом апофиза имеет более высокие показатели концентрации аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы, а в конце периода вегетации — большее содержание фотосинтетических пигментов по сравнению с формой с плоским типом. Это, вероятно, обусловлено наследственными особенностями данных форм.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, формы, поврежденность, сезонная динамика, биохимические показатели, избыточное увлажнение, устье Северной Двины

**Ссылка для цитирования:** Тарханов С.Н., Аганина Ю.Е., Пахов А.С. Сезонная изменчивость биохимических показателей и поврежденность разных форм сосны обыкновенной в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-5-12

Сосна имеет способность к формированию устойчивых насаждений в условиях постоянного избыточного увлажнения почв. Длительное избыточное увлажнение почв приводит к корневой гипоксии и гипотермии. В условиях недостатка кислорода деревья испытывают хронический стресс, который сопровождается нарушением окислительно-восстановительного баланса клеток, усилением процесса разложения молекул полимеров. Такие изменения влекут за собой активацию главного механизма адаптации организма — синтеза протекторных соединений (свободных аминокислот, стрессовых белков), витаминов, окислительных ферментов, а также других биохимических факторов, повышающих ассимиляционную активность и защитные свойства разных форм сосны. Хлорозы и некрозы, продолжительность жизни хвои являются признаками, характеризующими состояние ассимилирующих органов на морфологическом уровне. Наблюдаются как сезонные, так и возрастные изменения цвета хвои и ее потеря в период онтогенеза. Влияние стрессовых факторов в условиях

постоянного избыточного увлажнения может вызывать процессы преждевременной дехромации и дефолиации кроны, что приводит к раннему старению и гибели деревьев. Сведения об индивидуальной изменчивости и сравнительных биохимических характеристиках состояния разных форм сосны в стрессовых условиях северной тайги недостаточны [1, 2].

### Цель работы

Цель работы — исследовать сезонную динамику биохимических показателей хвои в вегетационный период 2014 года у форм сосны обыкновенной, различающихся типом апофиза семенных чешуй (*f. plana*, *f. gibba*), в условиях длительного избыточного увлажнения почв северной тайги в устье Северной Двины; дать оценку степени повреждения и потери хвои на побегах разного возраста и состояния деревьев в целом.

### Материалы и методы

Исследования проведены в северотаежных кустарничко-сфагновых сосняках на болотных вер-

ховых торфяных почвах устья Северной Двины. Опытные участки расположены на территории, относящейся к Печорско-Онежской провинции олиготрофных грядово-мочажинных торфяников. Торф имеет низкую степень разложения, сильно-кислую реакцию среды (рН солевой суспензии 2,6–3,2), очень низкую степень насыщенности основаниями (11...14 %), а в верхних горизонтах — низкую объемную массу, высокую полевою влажность, близкую к полной влагоемкости (90...94 %).

На постоянных пробных площадях были выявлены разные формы сосны на основе генетически обусловленного стабильного фенотипического маркера – формы апофиза семенных чешуй. Выборки были представлены деревьями с выпуклой (*f. gibba*) и плоской (*f. plana*) формой апофиза семенных чешуй [3]. Поврежденность ассимиляционного аппарата определяли у 91–155 деревьев каждой формы. Степень потери хвои оценивали по стандартной методике, разработанной Европейской экономической комиссией (UN-ECE) для стран Европы [4], а повреждения хвои — по шкале, предложенной В.Т. Ярмишко [5]. Поврежденность деревьев в целом оценивали визуально по стандартной шкале [6]. Рассчитывали индекс повреждения (для выборок деревьев разных форм) по формуле, приведенной в [7]. Для изучения сезонной динамики этих признаков на одних и тех же деревьях проводили отбор образцов в начале роста побегов (первая декада июня), в период завершения линейного роста (вторая декада июля) и осенью, в конце вегетационного периода (третья декада сентября). В лабораторных условиях фотометрическим методом определяли содержание в образцах однолетней хвои фотосинтетических пигментов [8], свободного

пролина [9], стрессовых белков [10], аскорбиновой кислоты [11], активность пероксидазы [12]. Уровни изменчивости признаков оценивали по эмпирической шкале С.А. Мамаева [13]. При сравнении одноименных признаков и свойств использовали *F*-критерий Фишера и *t*-критерий Стьюдента. Температуру воздуха и количество осадков определяли по данным метеостанции г. Архангельска.

## Результаты и обсуждение

Появление хлоротических зон, приуроченных обычно к верхушечной части, а также микроскопических пятен некрозов вследствие окисления фенолов наблюдаются уже на однолетних побегах. С возрастом степень повреждения хвои у деревьев с плоским типом апофиза семенных чешуй в среднем увеличивается (от 1,3 в однолетнем возрасте до 2,3 в пятилетнем) (рис. 1).

В выборках деревьев сосны с выпуклой формой апофиза степень повреждения хвои разных возрастов в среднем несколько ниже, кроме пятилетнего возраста. В связи со значительной потерей хвои у формы с «плоским» типом апофиза на пятилетних побегах остается более жизнеспособная хвоя с меньшей степенью повреждения. В целом степень повреждения хвои у разных форм колеблется от почти здоровой в однолетнем возрасте до умеренно поврежденной в пятилетнем возрасте. Более интенсивная потеря хвои на побегах наблюдается в четырех-пятилетнем возрасте, т. е. повреждается относительно старая хвоя. У деревьев с плоской формой апофиза категория потери хвои в этом возрасте в среднем составляет 1,8...3,0 балла, а с выпуклой формой — 1,8...2,8 балла (от слабой до сильной степени). Начиная с трехлетнего возраста более значительная поте-

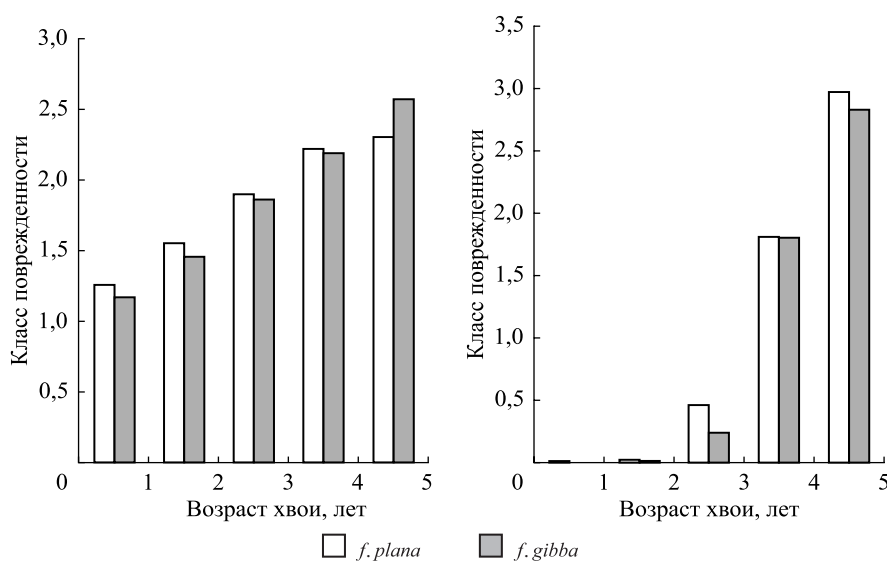


Рис. 1. Класс поврежденности и категории потери хвои  
Fig. 1. Grade of chlorotic decline, canker and needle cast

ря хвои характерна для сосны с плоским типом апофиза. В трех- и пятилетнем возрасте хвои эти различия достоверны ( $t = 2,1$  и  $2,3$  соответственно;  $t_{0,05} = 2,0$ ). В одно-трехлетнем возрасте потери хвои почти не происходит (она близка к нулевому баллу). По предельной продолжительности хвои эти формы существенно не различаются (в среднем 4,3–4,4 года).

Средняя величина индекса повреждения деревьев значительно выше в выборках деревьев сосны с плоским апофизом ( $I = 2,0$ ) по сравнению с сосной с выпуклой формой апофиза ( $I = 1,9$ ). Хотя по этим индексам их можно отнести к категориям здоровых и слабоповрежденных деревьев, различия статистически достоверны ( $t = 2,1$ ;  $t_{0,05} = 2,0$ ) [14]. Однофакторный дисперсионный анализ подтверждает зависимость индекса повреждения от формы деревьев с разным типом апофиза ( $F = 4,39$ ;  $F_{0,05} = 3,88$ ).

Причиной морфологических изменений является перестройка метаболизма [15]. Когда нарушения физиолого-морфологических процессов становятся необратимыми, происходит развитие так называемых «видимых» симптомов повреждения (хлорозов и некрозов хвои) [16]. Деревья разных форм могут сильно различаться по содержанию фотосинтетических пигментов, стрессовых метаболитов и пероксидазной активности из-за неодинаковых диапазонов нормы их реакции на воздействия среды. Содержание и состав фотосинтетических пигментов являются показателями основного метаболизма растений. Процессы ассимиляции в первую очередь связаны с фотосинтезом, а значит, и с пигментным аппаратом. В период вегетации 2014 г. в пределах выборок форм сосны с плоским и выпуклым типом апофиза уровень индивидуальной изменчивости концентрации хлорофиллов и каротиноидов в однолетней хвое колеблется от среднего до высокого ( $C.V. = 12...32\%$ ). При этом коэффициенты вариации содержания фотосинтетических пигментов в разные календарные периоды могут значительно отличаться друг от друга (см. таблицу). Уровень индивидуальной изменчивости активности пероксидазы в однолетней хвое высокий и очень высокий ( $C.V. = 21...43\%$ ), причем у сосны с выпуклым типом апофиза коэффициенты вариации существенно больше ( $F$ -критерий,  $p < 0,05$ ). То же можно отметить и в отношении содержания аскорбиновой кислоты ( $C.V. = 13...39\%$ ;  $F$ -критерий,  $p < 0,05$ ). Уровень индивидуальной изменчивости содержания свободного пролина в вегетационный сезон 2014 г. также высокий и очень высокий ( $C.V. = 21...48\%$ ). Содержание стрессовых белков характеризуется очень высоким уровнем индивидуальной изменчивости ( $C.V. = 45...94\%$ ). Уровни индивидуальной вари-

абельности биохимических показателей в течение сезона могут различаться ( $F$ -критерий,  $p < 0,05$ ).

Сезонная ритмичность физиолого-биохимических процессов влияет на устойчивость сосны к воздействию внешних факторов и может иметь решающее значение при адаптации. Установлены существенные различия ( $t$ -критерий,  $p < 0,05$ ) в сезонной динамике (между датами отбора образцов хвои с одних и тех же деревьев с различным типом апофиза) содержания хлорофиллов и каротиноидов, свободного пролина, стрессовых

Т а б л и ц а

**Изменчивость биохимических показателей у разных форм в популяции сосны**  
Variability of biochemical indicators of *f. plana* and *f. gibba*

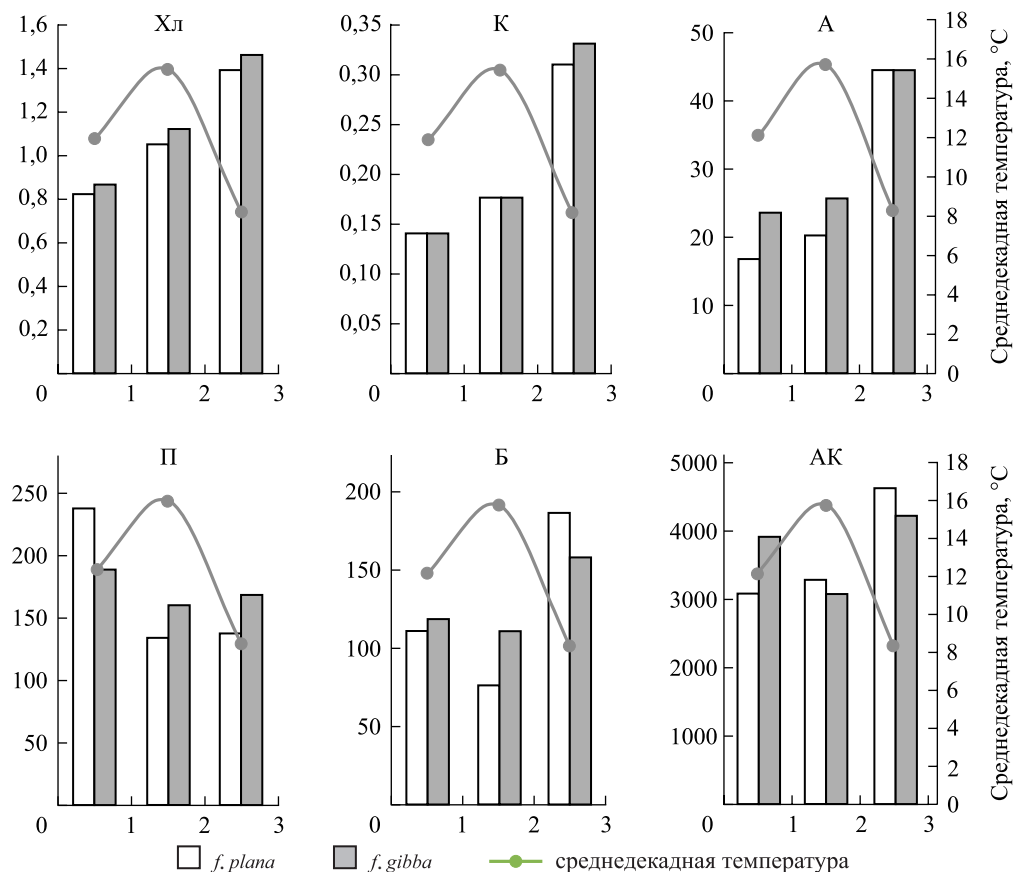
Показатель	Хл	К	А	П	Б	АК
<i>f. plana</i>						
I декада июня						
min	0,676	0,110	9,6	91,6	5,5	1234,8
max	1,113	0,231	25,9	409,0	210,0	3978,1
<i>C.V.</i> , %	15,3	24,0	28,4	47,7	58,8	29,3
II декада июля						
min	0,733	0,109	12,1	82,6	18,7	1658,8
max	1,463	0,277	26,4	209,0	199,5	5930,2
<i>C.V.</i> , %	25,8	32,0	20,7	33,4	75,5	39,4
III декада сентября						
min	0,800	0,242	29,7	71,1	50,7	3324,9
max	2,034	0,426	62,7	203,6	333,3	6914,6
<i>C.V.</i> , %	24,7	16,9	25,2	29,5	49,3	30,8
<i>f. gibba</i>						
I декада июня						
min	0,526	0,094	12,3	120,0	27,6	3260,9
max	1,042	0,168	35,8	321,6	187,9	4657,7
<i>C.V.</i> , %	17,0	18,0	38,4	28,9	45,3	12,7
II декада июля						
min	0,783	0,123	14,2	95,8	12,5	2371,6
max	1,946	0,245	44,8	280,0	286,8	4662,9
<i>C.V.</i> , %	30,5	21,8	42,8	36,5	93,5	25,8
III декада сентября						
min	1,160	0,257	26,5	116,3	14,5	2886,5
max	1,760	0,386	66,4	227,0	355,0	6931,6
<i>C.V.</i> , %	13,7	11,7	32,4	21,4	75,8	30,9
<i>Примечание.</i> Хл — содержание хлорофиллов «a» и «b», мг/г воздушно-сухой массы хвои; К — содержание каротиноидов, мг/г воздушно-сухой массы хвои; А — активность пероксидазы, усл. ед.; П — содержание пролина, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; Б — содержание стрессовых белков, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; АК — содержание аскорбиновой кислоты, мкг/г воздушно-сухой массы.						

белков, аскорбиновой кислоты, активности пероксидазы (рис. 2).

Влияние сезонной изменчивости на динамику содержания фотосинтетических пигментов, свободного пролина, стрессовых белков, аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы подтверждается результатами однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа ( $F$ -критерий,  $p < 0,05$ ).

Содержание и состав фотосинтетических пигментов — показатели основного метаболизма растений. Изменения в их содержании могут служить критерием устойчивости вида к стрессовым условиям. В конце периода вегетации были выявлены достоверные различия концентрации фотосинтетических пигментов в однолетней хвое у деревьев с разным типом апофиза семенных чешуй ( $t$ -критерий,  $p < 0,05$ ). У сосны с выпуклой формой апофиза семенных чешуй в данный пе-

риод показатель выше. Увеличение содержания пигментов может быть связано с накоплением продуктов окисления углеводов — органических кислот цикла Кребса и продуктов гидролиза белков, необходимых для синтеза пигментов [17]. В результате образования пигментов развиваются защитно-приспособительные реакции сосны [18]. В сентябре 2014 г. температура воздуха в районе исследований была значительно выше ( $t = 10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) по сравнению со среднегодовыми данными ( $t = 7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В связи с этим накопление хлорофиллов продолжалось до осени. Осенью резко повышается концентрация каротиноидов. Каротиноиды играют важную роль в процессе фотосинтеза, выполняя функции светосборников и фитопротекторов [19]. Значительное увеличение содержания каротиноидов осенью рассматривается как адаптивная реакция, направленная на повышение устойчивости фотосинтетического



**Рис. 2.** Динамика биохимических характеристик хвои сосны с разным типом апофиза семенных чешуй: 1 — I декада июня; 2 — II декада июля; 3 — III декада сентября; Хл — содержание хлорофиллов «а» и «б», мг/г воздушно-сухой массы хвои; К — содержание каротиноидов, мг/г воздушно-сухой массы хвои; А — активность пероксидазы, усл. ед.; П — содержание пролина, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; Б — содержание стрессовых белков, мкг/г воздушно-сухой массы хвои; АК — содержание аскорбиновой кислоты, мкг/г воздушно-сухой массы

**Fig. 2.** Dynamics of biochemical indicators of *f. plana* and *f. gibba*: 1 — I third of June; 2 — II third of July; 3 — III third of September; Хл — the content of chlorophylls «a» and «b», mg/g of air-dry weight of needles; К — content of carotenoids, mg/g air-dry weight of needles; А — peroxidase activity, cond. units; П — the content of proline, mcg/g of air-dry mass of needles; Б — the content of stress proteins, mcg/g of air-dry mass of needles; АК — the content of ascorbic acid, mcg/g of air-dry mass

аппарата, предотвращение фотодинамической деструкции. У сосны с выпуклой формой апофиза эта реакция имеет более выраженный характер.

Повышение или снижение уровня активности ферментов в клетках может быть обусловлено изменениями скорости биосинтеза и продолжительности их биологического времени жизни, а также изменением физико-химических свойств ферментов [20]. Активацию гидролитических ферментов относят к числу признаков неспецифической составляющей стресса у растений [21]. Пероксидазы — ключевые ферменты окислительно-восстановительных процессов, быстро реагирующие на любые воздействия, оказываемые на растительный организм, а также на различные нарушения метаболизма повышением своей активности [22]. Они рассматриваются как приспособительные ферменты при кислородном голодании у растений [23]. Существенное снижение температуры ( $t = 8,3$  °C) и увеличение количества осадков (30,3 мм) в сентябре по сравнению с летним периодом привело к активации окислительных ферментов, и пероксидазная активность у деревьев сосны увеличилась почти в 2 раза. Это можно рассматривать как защитную реакцию, препятствующую развитию неконтролируемых окислительных процессов в стрессовых условиях.

В процессе адаптации *P. sylvestris* к стрессовым условиям происходит формирование изоэнзимов — стрессовых белков [24–26]. Снижению количества стрессовых белков в июле способствовала теплая и сухая погода ( $t = 15,7$  °C, количество осадков 8,0 мм). Осенью наблюдалось повышение этих метаболитов в 1,5 раза, что, возможно, привело к существенному уменьшению концентрации свободного пролина, который служит строительным материалом для молекул белков. Содержание свободного пролина в хвое с начала роста побегов к концу периода вегетации уменьшается. Накопление пролина в хвое деревьев весной, когда наблюдается повышение уровня почвенно-грунтовых вод, обусловлено недостатком кислорода в тканях вследствие корневой гипоксии. Более благоприятные погодные условия в летний и осенний период способствовали стабилизации процесса накопления пролина у сосны на избыточно увлажненных почвах.

Аскорбиновая кислота (витамин С) наряду с другими соединениями участвует в регуляции окислительно-восстановительного потенциала, с которым связана активность многих ферментов и физиолого-биохимических реакций, в том числе и таких жизненно необходимых, как фотосинтез и дыхание. Ее содержание тесно связано с условиями произрастания и физиологическим состоянием растений [27]. Концентрация аскорбиновой

кислоты также существенно повышается в конце сентября, поскольку происходит накопление этого витамина перед перезимовкой. Аскорбиновая кислота выступает в роли антиоксиданта растительных клеток при воздействии стрессовых факторов.

## Заключение

В северной тайге устья Северной Двины сосна с выпуклым типом апофиза семенных чешуй в возрасте 60–80 лет в среднем характеризуется меньшей степенью повреждения и потери хвои по сравнению с формой с плоским типом апофиза. Деревья сосны с плоским типом апофиза имеют более высокий индекс повреждения. В начале линейного роста побегов сосна с выпуклым типом апофиза имеет более высокие показатели концентрации аскорбиновой кислоты и активности пероксидазы, а в конце периода вегетации — большее содержание фотосинтетических пигментов по сравнению с формой с плоским типом. Теплый сентябрь способствует продлению периода накопления хлорофиллов до осени и стабилизации концентрации пролина в июле–сентябре у сосны на избыточно увлажненных почвах. Осенью происходит накопление таких фитопротекторов, как каротиноиды и стрессовые белки. В этот период наблюдается существенное повышение активности пероксидазы и концентрации аскорбиновой кислоты в хвое у обеих форм сосны, что можно рассматривать как защитную реакцию, препятствующую развитию неконтролируемых окислительных процессов. Это подтверждает правомерность ранее сделанных выводов об общем сходстве в сезонной динамике биохимических процессов у наследственных форм сосны в стрессовых условиях [2].

*Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН (проект № 0409-2014-0125).*

## Список литературы

- [1] Теребова Е.М., Галибина Н.А., Сазонова Т.А., Таланова Т.Ю. Индивидуальная изменчивость метаболических показателей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Лесоведение, 2003. № 1. С. 73–77.
- [2] Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Морфоструктура и изменчивость биохимических признаков популяций сосны (*Pinus sylvestris* L.) в стрессовых условиях устья Северной Двины // Сибирский экологический журнал, 2014. № 2. С. 319–327.
- [3] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 191 с.

- [4] Hanisch B., Kilz E. Waldschaden erkennen Fichte und Kiefer. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1990. 334 p.
- [5] Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбУ, 1997. 210 с.
- [6] Санитарные правила в лесах РФ. Утв. МПР РФ 05.04.06. М., 2006. 22 с.
- [7] Цветков В.Ф., Цветков И.В. Леса в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск: Соломбальская тип., 2003. 354 с.
- [8] Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биологические методы в физиологии растений; под ред. О.А. Павлиновой. М.: Наука, 1971. С. 154–170.
- [9] Bates L.S., Waldren R.P., Teare J.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant and Soil, 1973, v. 39, no. 1, pp. 205–206.
- [10] Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.R., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent // J. Biol. Chem., 1951, v. 193, pp. 265–275.
- [11] Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. Ч. 1. 107 с.
- [12] Бояркин А.Н. Быстрый метод определения активности пероксидазы // Биохимия, 1951. Вып. 1. № 4. С. 352–357.
- [13] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
- [14] Цветков В.Ф. Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области. Архангельск: АИЛиЛХ, 1990. 20 с.
- [15] Мальхотра С.С., Хан А.А. Биохимическое и физиологическое действие приоритетных загрязняющих веществ // Загрязнение воздуха и жизнь растений; под ред. М.Л. Трешоу. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. С. 144–161.
- [16] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. Influence of atmospheric pollution on the morphological parameters of the assimilation apparatus of pine and spruce in the basin of the Northern Dvina // Contemporary problems of ecology, 2012, v. 5, no. 3, pp. 300–306.
- [17] Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1989. 208 с.
- [18] Тарханов С.Н. Внутривидовая изменчивость биохимических признаков и повреждаемость хвои у разных форм *Pinus Sylvestris* (Pinaceae) в северотаежных сфагновых сосновых лесах при аэротехногенном загрязнении // Растительные ресурсы, 2016. Т. 52. № 4. С. 79–100.
- [19] Шуляковская Т.А., Чиненова Л.А., Шредерс С.М., Канючкова Г.К. Динамика содержания основных метаболитов в семенах сосны обыкновенной // Лесоведение, 2005. № 2. С. 53–61.
- [20] Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенного загрязнения среды. Киев: Наукова думка, 1996. 238 с.
- [21] Пятагин С.С. Стресс у растений: физиологический подход // Журнал общей биологии, 2008. Т. 69. № 4. С. 294–298.
- [22] Андреева В.А. Фермент пероксидаза. Участие в защитном механизме растений. М.: Наука, 1988. 127 с.
- [23] Gordon W.R., Henderson J.H. Isoperoxidases of (IAA oxidase) in oat coleoptiles // Canad. J. Bot., 1973, v. 51, no. 11, pp. 2047–2052.
- [24] Kontunen-Soppela S. Dehydrins in Scots pine tissues: responses to annual rhythm, low temperature and nitrogen: doctoral dissertation: defended on March 8th, 2001. Oulu: University of Oulu, 2001. 46 p.
- [25] Oliviusson P., Salaj J., Hakman I. Expression pattern of transcript encoding water channel-like protein in Norway spruce (*Picea abies*) // Plant Mol. Biol., 2001, v. 46, no. 3, pp. 289–299.
- [26] Moffatt B., Eward V., Eastman A. Cold comfort: plant antifreeze proteins // Physiologia plantarum, 2006, v. 126, no. 1, pp. 5–16.
- [27] Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Адаптация растений к нефтяному стрессу // Экология, 2004. № 5. С. 330–335.

## Сведения об авторах

**Тарханов Сергей Николаевич** — д-р биол. наук, заведующий лабораторией экологии популяций и сообществ Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, [tarkse@yandex.ru](mailto:tarkse@yandex.ru)

**Аганина Юлия Евгеньевна** — аспирант, младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, [julja-a30@rambler.ru](mailto:julja-a30@rambler.ru)

**Пахов Александр Сергеевич** — младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, [aleksander.pakhoff@yandex.ru](mailto:aleksander.pakhoff@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 05.12.2017.

## SEASONAL VARIABILITY OF BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND A DEFECT IN THE NEEDLES OF DIFFERENT FORMS OF *PINUS SYLVESTRIS* UNDER STRESS CONDITIONS IN THE NORTHERN TAIGA

S.N. Tarkhanov, Yu.E. Aganina, A.S. Pakhov

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, 163000, Arkhangelsk, Severnaya Dvina, emb. 23  
julja-a30@rambler.ru

Research aim is study the influence of meteorologic factors on the biochemical characteristics of different forms of *Pinus sylvestris* (*f. plana*, *f. gibba*) under flooding conditions. We conducted research during the growing season of 2014. The main areas of research are Northern taiga forest ecosystems. Experimental plots are located in the lower reaches of the Northern Dvina River. We estimated the degree of damage and loss of needles on shoots of different ages and level of pinus health. *F. gibba* at the age of 60–80 years on average is characterized by a lesser degree of damage and loss of needles, compared to *f. plana*. *F. plana* have a higher damage index. The study shown that the dynamics of the content of some biochemical characteristics such as photosynthetic pigments (chlorophylls and carotenoids), proline, proteins, ascorbic acid, peroxidase activity in the pine needles depend on meteorologic factors and phenophase. *F. gibba* has a higher concentration of ascorbic acid and peroxidase activity, and at the end of the vegetative period a higher content of photosynthetic pigments than the *f. plana*. Forms with different configuration of apophysis differ in the seasonal dynamics of the content of stressful metabolites. Our results indicate that different forms of *Pinus sylvestris* L. have nuances in adaptation to stress conditions.

**Keywords:** *Pinus sylvestris*, forms, damage and loss of needles, seasonal dynamics, biochemical indicators, flooding conditions, Northern Dvina basin

**Suggested citation:** Tarkhanov S.N., Aganina Yu.E., Pakhov A.S. *Sezonnaya izmenchivost' biokhicheskikh pokazateley i povrezhdennost' raznykh form sosny obyknovnoy v usloviyakh postoyannogo izbytochnogo uvlazhneniya pochv severnoy taygi* [Seasonal variability of biochemical characteristics and a defect in the needles of different forms of *Pinus sylvestris* under stress conditions in the northern taiga]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-5-12

### References

- [1] Terebova E.M., Galibina N.A., Sazonova T.A., Talanova T.Yu. *Individual'naya izmenchivost' metabolicheskikh pokazateley assimilyatsionnogo apparata sosny obyknovnoy v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya* [Individual variation in metabolic parameters of the assimilation apparatus in Scots pine under conditions of industrial pollution]. *Lesovedenie [Sylviculture]*, 2003, no. 1, pp. 73–77.
- [2] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. *Morfostruktura i izmenchivost' biokhicheskikh priznakov populyatsiy sosny (Pinus sylvestris L.) v stressovykh usloviyakh ust'ya Severnoy Dviny* [Morphostructure and variability of biochemical indicators of pine populations (*Pinus sylvestris* L.) under stress conditions in the lower reaches of the Northern Dvina River] *Contemporary problems of ecology*, 2014, no. 2, pp. 319–327.
- [3] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecies taxonomy and selection]. Moscow: Nauka Publ., 1964, 191 p.
- [4] Hanisch B. *Waldschaden erkennen Fichte und Kiefer*. Stuttgart, 1990, 334 p.
- [5] Yarmishko V.T. *Sosna obyknovennaya i atmosfernoe zagryaznenie na Evropeyskom Severe* [Scots pine and air pollution in the European North]. St. Petersburg: NII khimii SPbu Publ., 1997, 210 p.
- [6] *Sanitarnye pravila v lesakh RF. Urv. MPR RF 5.04.06*. [Sanitary forest regulations: approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation]. Moscow, 2006, 22 p.
- [7] Tsvetkov V.F., Tsvetkov I.V. *Les v usloviyakh aerotekhnogennogo zagryazneniya* [Forests in air pollution conditions]. Arkhangelsk: Solombala Printing House, 2003, 354 p.
- [8] Shlyk A.A. *Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev* [Determination of chlorophylls and carotenoids in extracts of green leaves]. *Biologicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biological methods in plant physiology]. Moscow: Nauka, 1971, pp. 154–170.
- [9] Bates L.S., Waldren P.J., Teare J.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 1973, vol. 39, no. 1, pp. 205–206.
- [10] Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.R., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 1951, v. 193, pp. 265–275.
- [11] Voskresenskaya O.L., Alyabysheva E.A., Polovnikova M.G. *Bol'shoy praktikum po bioekologii* [Bioecology laboratory course]. Ioshkar-Ola: MarGTU Publ., 2006, p. 1, 107 p.
- [12] Boyarkin A.N. *Bystryy metod opredeleniya aktivnosti peroksidazy* [Rapid test for the determination of peroxidase activity]. *Biokhimiya* [Biochemistry], 1951, iss. 1, no. 4, pp. 352–357.
- [13] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecies variability of ligneous plants (on the example of the Urals family Pinaceae)]. Moscow: Nauka, 1972, 284 p.
- [14] Tsvetkov V.F. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke sushchestvuyushchego i prognoziruemogo sostoyaniya lesnykh nasazhdeniy v zone vliyaniya promyshlennykh predpriyatiy Murmanskoy oblasti* [Guidelines to assess the state of forests in the industrial zone of Murmansk]. Arkhangelsk: AILiKh, 1990, 20 p.
- [15] Mal'khotra S.S., Khan A.A. *Biokhicheskoe i fiziologicheskoe deystvie prioritnykh zagryaznyayushchikh veshchestv* [Biochemical and physiological effects of top pollutants]. *Zagryaznenie vozdukha i zhizn' rasteniy* [Air pollution and plant life]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1988, pp. 144–161.
- [16] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. Influence of atmospheric pollution on the morphological parameters of the assimilation

- apparatus of pine and spruce in the basin of the Northern Dvina. Contemporary problems of ecology, 2012, v. 5, no. 3, pp. 300–306.
- [17] Getko N.V. *Rasteniya v tekhnogennoy srede* [Plants in technogenic environment]. Minsk: Science and Technology Publ., 1989, 208 p.
- [18] Tarkhanov S.N. *Vnutripopulyatsionnaya izmenchivost' biokhimicheskikh priznakov i povrezhdaemost' khvoi u raznykh form Pinus Sylvestris (Pinaceae) v severotaezhnykh sfagnovykh sosnovykh lesakh pri aerotekhnogenom zagryaznenii* [Intrapopulation variability of biochemical characteristics and a defect in the needles of different forms of *Pinus Sylvestris* (Pinaceae) in northern taiga peat-moss pine forests under aero-technogenic pollution]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2016, v. 52, no. 4, pp. 79–100.
- [19] Shulyakovskaya T.A., Chinenova L.A., Shreders S.M., Kanyuchkova G.K. *Dinamika sodержaniya osnovnykh metabolitov v seyantsakh sosny obyknovnoy* [Dynamics of the major metabolites of Scots pine seedlings]. *Lesovedenie* [Silviculture], 2005, no. 2, pp. 53–61.
- [20] Korshikov I.I. *Adaptatsiya rasteniy k usloviyam tekhnogenogo zagryazneniya sredy* [Adaptation of plants to anthropogenic pollution]. Kiev: Naukova Dumka Publ., 1996, 238 p.
- [21] Pyatygin S.S. *Stress u rasteniy: fiziologicheskii podkhod* [Stress in plants: a physiological approach]. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2008, v. 69, no. 4, pp. 294–298.
- [22] Andreeva V.A. *Ferment peroksidaza. Uchastie v zashchitnom mekhanizme rasteniy* [Peroxidase. Participation in the protective mechanism of plants]. Moscow: Nauka publ., 1988, 127 p.
- [23] Gordon W.R., Henderson J.N. Isoperoxidases of (IAA oxidase) in oat coleoptiles. *Canad. J. Bot.*, 1973, v. 51, no. 11, pp. 2047–2052.
- [24] Kontunen-Soppela S. *Dehydrins in Scots pine tissues: responses to annual rhythm, low temperature and nitrogen: doctoral dissertation* : defended on March 8th, 2001. Oulu: University of Oulu, 2001, 46 p.
- [25] Oliviusson P., Salaj J., Hakman I. Expression pattern of transcript encoding water channel-like protein in Norway spruce (*Picea abies*). *Plant Mol. Biol.*, 2001, v. 46, no. 3, pp. 289–299.
- [26] Moffart B., Eward V., Eastman A. Cold comfort: plant antifreeze proteins. *Physiologia plantarum*, 2006, v. 126, no. 1, pp. 5–16.
- [27] Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. *Adaptatsiya rasteniy k neftyanomu stressu* [Adaptation of plants to oil stress]. *Ekologiya* [Ecology], 2004, no. 5, pp. 330–335.

## Authors' information

**Tarkhanov Sergey Nikolaevich** — Dr. Sci. (Biol.), Head of the Laboratory of the Ecology of Populations and Communities of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, [tarkse@yandex.ru](mailto:tarkse@yandex.ru)

**Aganina Yuliya Evgenievna** — pg., Junior Researcher of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, [julja-a30@rambler.ru](mailto:julja-a30@rambler.ru)

**Pakhov Alexandr Sergeevich** — Junior Researcher of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, [aleksander.pakhoff@yandex.ru](mailto:aleksander.pakhoff@yandex.ru)

Received 05.12.2017.