

УДК 630\*.1

DOI: 10.36305/0513-1634-2020-136-140-147

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОЗАЩИТНЫХ ПОЛОС С УЧАСТИЕМ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТАБОЛИЗМА ВЕЩЕСТВ ВТОРИЧНОГО ОБМЕНА

Людмила Владимировна Полякова, Нина Федоровна Кузнецова

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Ломоносова, 105  
E-mail: Polyakova\_lv@mail.ru

Лес – один из наиболее эффективных механизмов для снижения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Изучалась способность *Pinus sylvestris* произрастать в засушливых условиях (сухой бор – А1). Выявлено накопление флавонолов и проантоцианидинов в хвое, перидерме и флоэме побегов. Устойчивость к болезням и вредителям оказалась связанной со строением полимеризованной формы катехинов (проантоцианидинов). Эти соединения способны использовать волны УФ-Б для их синтеза и проявляют высокую антиоксидантную активность. Обсуждаются преимущества сосны по сравнению с тополем для создания лесных полос.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная; Среднерусская лесостепь; полезащитные лесные полосы; устойчивость; вторичные метаболиты.

### Введение

Полезащитное лесоразведение является эффективным и экологичным способом смягчения возрастающей в атмосфере концентрации CO<sub>2</sub> за счет увеличения запаса углерода в экосистемах, и связано с рядом проблем, в том числе и породного состава. Для оценки возможности депонирования атмосферного углерода в Китае проведено сравнительное изучение разных древесных пород, используемых для создания лесополос. По уровню депонирования углерода сосна красная китайская (*Pinus tabulaeformis*) оказалась на 30,0% более активной по сравнению с монокультурой тополя Давида (*Populus davidiana*) [12]. Большой опыт по подбору пород в нашей стране получен В.В. Докучаевым и его последователями в Каменной Степи. В число наиболее распространенных видов для лесополос входят также сосна и тополь. При облесении засушливого пояса Евразии наиболее оптимальной породой является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Этот вид стрес-толерант обладает высокой средообразующей способностью, может формировать полнотные насаждения на песчаных почвах, меловых отложениях, мало потребляет воды и рационально использует ее в засуху. С середины XX века развитие Среднерусской лесостепи идет в направлении остепнения, и состояние сосновых насаждений прямо зависит от темпов изменения климата. К факторам, связанным с изменением климата, относится и возрастающая УФ-Б радиация (280–315 нм), вызывающая депрессию роста, изменение регуляции генов, включенных в общий метаболизм, фотосинтез, защиту от болезней и вредителей [15].

Оценку качества лесных культур принято проводить по интенсивности роста. Однако данный критерий практически не отражает изменчивость адаптивных признаков, от которых зависит формирование не только высоты насаждения, но и устойчивость к биотическим и абиотическим факторам. В качестве адаптивных признаков чаще всего изучаются особенности метаболизма веществ вторичного обмена [11]. Одна из наиболее изученных функций вторичных веществ – это защита растений

от патогенов и вредителей, УФ-Б-радиации, а также негативное влияние на ростовую активность, что связано с конкуренцией за включение углерода в первичные и вторичные метаболиты [9]. Цель исследования – оценить особенности накопления вторичных веществ, способствующих повышению устойчивости культур сосны, в том числе и лесополос, к среде обитания – оптимальных для сосны условиях В2 и стресс-условиях А1.

### Объекты и методы исследования

Объект исследования – географические культуры  $F_1$  поколения, созданные в Изюмском гослесхозе в 1975 и 1991 гг. Тип лесорастительных условий 5- и 6-летних культур – В2 (свежая суборь) относится к наиболее оптимальным для развития сосны. Условия при типе А1 (сухой бор) являются для данного вида стрессовыми. Образцы хвои или луба отбирали с 35, 37 и 26 деревьев в рядах данных объектов, одновременно снимая ростовые показатели. Это позволило выборку деревьев в популяции (культуре  $F_1$ ) разделить на группы: угнетенные особи – ростовые показатели ниже значений ( $\bar{x} - 1\sigma$ ), подчиненные – в пределах значений ( $\bar{x} - 1\sigma$ ), кодоминантные – в диапазоне ( $\bar{x} + 1\sigma$ ), доминантные – выше показателей ( $\bar{x} + 1\sigma$ ). Содержание веществ структуры проантоцианидинов (ПА) в свободной и связанной формах определяли по [14]; флавонолов (ФЛ) – по методу В.В. Беликова [1]; белка – по методу Г.А. Бузунс соавт. [2]. Вариационная статистика и корреляции выполнены с использованием программы Excel.

### Результаты и обсуждение

Материалы исследования показали, что во всех культурах можно отметить заметное влияние уровня синтеза ФЛ и ПА как в хвое, так и лубе на ростовые характеристики деревьев (табл. 1).

Таблица 1

**Структура популяции в географических культурах сосны обыкновенной 5-ти и 21-летнего возраста по содержанию в хвое вторичных веществ**

Культура $F_1$	Ростовой показатель, м	ФЛ $\pm m$	CV %	ПА $\pm m$	CV%
<b>5-летние культуры, высота</b>	<b>1,75<math>\pm</math>0,05</b>	-	-	<b>0,71<math>\pm</math>0,03</b>	<b>26,7</b>
Угнетенная группа (8 дер.)	1,33 $\pm$ 0,04	-	-	0,78 $\pm$ 0,07*	25,6
Адаптивная - « - (20 дер.)	1,49 $\pm$ 0,02	-	-	0,72 $\pm$ 0,09	15,3
Доминантная - « - (7 дер.)	2,16 $\pm$ 0,03	-	-	0,65 $\pm$ 0,05*	20,0
<b>6-летние культуры, прирост,</b>	<b>0,33<math>\pm</math>0,02</b>	<b>0,60<math>\pm</math>0,057*</b>	<b>58,0</b>	<b>0,43<math>\pm</math>0,05</b>	<b>69,0</b>
Угнетенная группа (6 дер.)	0,13 $\pm$ 0,02	1,06 $\pm$ 0,15**	35,0	0,78 $\pm$ 0,19**	61,0
Адаптивная - « - (22 дер.)	0,29 $\pm$ 0,006	0,52 $\pm$ 0,06	53,8	0,45 $\pm$ 0,04	44,0
Доминантная - « - (11 дер.)	0,52 $\pm$ 0,012	0,47 $\pm$ 0,08**	59,0	0,25 $\pm$ 0,04**	56,0
<b>21-летник культуры, высота</b>	<b>4,33<math>\pm</math>0,18</b>	<b>0,26<math>\pm</math>0,02</b>	<b>46,0</b>	<b>0,91<math>\pm</math>0,07</b>	<b>39,0</b>
Угнетенная группа (4 дер.)	3,15 $\pm$ 0,155	0,36 $\pm$ 0,055*	30,5	0,86 $\pm$ 0,10*	23,0
Адаптивная - « - (18 дер.)	4,40 $\pm$ 0,10	0,22 $\pm$ 0,02	31,8	0,94 $\pm$ 0,09	41,0
Доминантная - « - (4 дер.)	5,92 $\pm$ 0,25	0,19 $\pm$ 0,02*	21,0	0,68 $\pm$ 0,14*	42,0

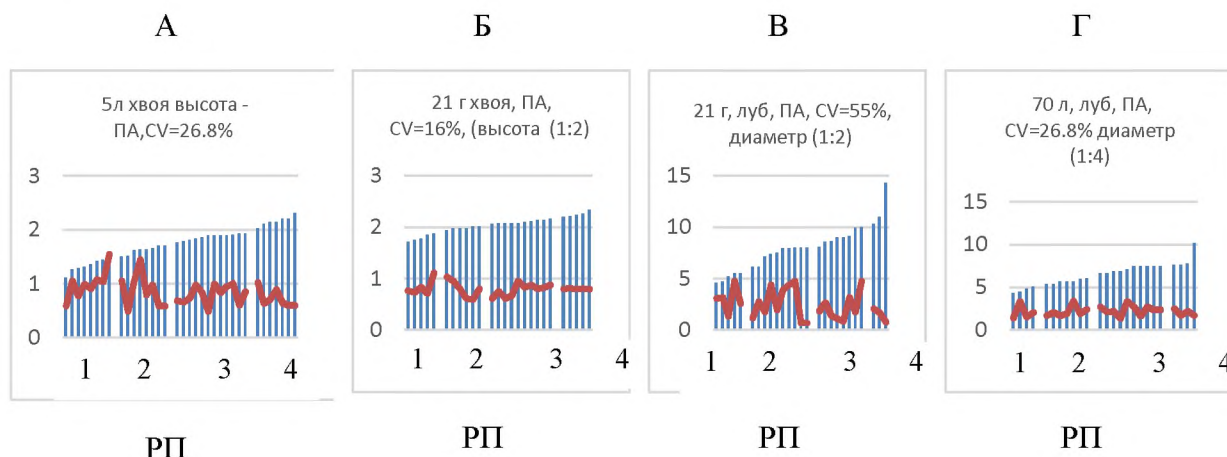
Примечания: Адаптивная группа особей включает подчиненные и кодоминантные.

Достоверность различий \*  $p \leq 0,05$ ; \*\* 0,01.

Вариабельность признака – CV%.

Приведенные в таблице 1 данные свидетельствуют, что деревья низкой ростовой активности (угнетенные) характеризовались наиболее высоким уровнем синтеза в хвое веществ группы ФЛ – превышение составляло в разных культурах от 12,0 до 70,0% от среднего популяционного уровня. Самый низкий уровень обеих групп веществ

оказался характерным для деревьев доминантных по ростовой активности и был ниже популяционного на 10,0-60,0%. Вариабельность флавоноидов (обе группы) наиболее высокая в молодом возрасте – CV, % составляет 50,0-60,0% в 5-6-летних культурах. К 21-летнему возрасту CV, % снижается до пониженного и среднего уровня – 20,0-40,0%. Вариабельность снижается, вероятно, вследствие элиминации особей, имеющих значительные отклонения от оптимального для данного местообитания уровня синтеза этих веществ (рис. 1).



**Рис. 1** Структура популяции культур сосны обыкновенной разного возраста в условиях В2, включает группы особей: угнетенные (1); подчиненные (2); кодоминантные (3); доминантные (4).

ПА – проантоцианидины; гистограмма – высота (Б), диаметр (А, В, Г) деревьев; графиком отражено содержание ПА в хвое и лубе индивидуальных деревьев.

РП – ростовой показатель ПА, %. Рубки ухода в культурах не проводятся

Рисунок 1 (А, Б) показывает, что содержание ПА в хвое 5-летних деревьев при вариабельности 27,0% снижается до 16,0% в 21-летних. Аналогичная динамика снижения вариабельности показателей содержания ПА в лубе деревьев отмечена также при сравнении 21- и 70-летних культур (рис. В, Г). В самой структуре популяции можно отметить, что в обеих тканях (хвоя и луб деревьев) наиболее заметные отклонения от среднего для популяции уровня характерны для группы угнетенных и подчиненных особей (1, 2 группы). Численность особей в этих группах с возрастом заметно снижается: по показателям ПА в хвое в 5-летнем возрасте культур пониженная ростовая активность отмечена для 16 особей – 47,0% от численности популяции, в 21-летнем – для 11 особей, что составляет -40,0% выборки. То есть, численность особей пониженной ростовой активности снизилась к 21-летнему возрасту на 7,0%, что, вероятно, отчасти может происходить за счет элиминации растений с наиболее заметными отклонениями в синтезе ПА в хвое. Аналогичная тенденция наблюдается и при анализе луба 21- и 70-летних деревьев. С возрастом снижается численность деревьев в подчиненной и угнетенной группах, но возрастает в группах кодоминантных и доминантных деревьев (3, 4 группы).

По концепции В.А. Драгавцева [3] общее жизненное состояние и устойчивость растений и их сообществ во многом определяется в системе взаимодействия генотип-среда (ВГС). Со стороны генотипа, согласно нашим представлениям, дифференциация на генотипы-лидеры и генотипы-аутсайдеры начинается в ходе полового воспроизведения на базе энергетической линии репродуктивного цикла [13]. Со стороны среды она усиливается при интеграции будущих растений в свою микронишу в момент выхода зародышей из состояния покоя при прорастании семян.

Доказано, что наиболее качественные леса формируются в центре ареала, из семян местного происхождения при условии, что их генофонд и лесорастительные условия экологической ниши совпадают. Влияние абиотического фактора отчетливо проявляется при смене условий произрастания культур – от оптимальных для сосны обыкновенной условий В2 на стрессовые засушливые условия А1 (табл. 2).

**Таблица 2**

**Содержание белка и фенольных соединений в тканях деревьев сосны обыкновенной (август 1996 г.) (% от сухой массы ткани)**

Культура F1	Белок	ФЛ, хвоя	ПА, хвоя	ФЛ, перидерма	ПА, перидерма	ПА, луб
5лет, В2, Н=1.64±0,07	7,52±0,11	0,19±0,01*	0,77±0,08	0,73±0,08*	1,05±0,06	0,8±0,05*
5лет, А1, Н=0.97±0,1	<u>7,62±0,12</u> 102	<u>0,32±0,02*</u> 168	<u>0,74±0,04</u> 96	<u>0,98±0,11*</u> 134	<u>1,23±0,08</u> 117	<u>0,96±0,07*</u> 120
21год, В2, D=16,0±0,6	6,6±0,18	0,24±0,03	1,04±0,06	—	—	1,32±0,05*
21годА1, D=7,6±0,4	<u>5,68±0,25</u> 89	<u>0,26±0,02</u> 108	<u>0,91±0,07</u> 87	—	—	<u>1,95±0,08*</u> 147

Примечания: Н – средняя высота, м; D – диаметр, см.

Достоверность различий \*  $p \leq 0,05$ .

В знаменателе – процент по отношению к аналогичному показателю культуры соответствующего возраста в условиях А1 к уровню содержания этих веществ в условиях В2.

содержание ФЛ и ПА в перидерме деревьев 21-летнего возраста не определялось.

Отличия в ростовой активности культур, созданных из семян местного климатипа (Изюмский лесхоз, Украина) и произрастающих в оптимальных для сосны условиях В2 и стресс-условиях А1, сопровождаются также разной активностью синтеза вторичных веществ в хвое, перидерме и лубе деревьев. Например, при заметном снижении ростовой активности деревьев в сухих условиях А1, в 5-летних культурах уровень синтеза ФЛ в хвое увеличивается на 68,0%, в перидерме побегов – на 34,0%, количество ПА в перидерме и флоэме (луб) возрастает на 17,0 и 20,0%, соответственно. В 21-летнем возрастесодержание ФЛ в хвое практически выравнивается, а во флоэме заметно возрастает синтез ПА – на 47,0% по сравнению с культурой, выращиваемой в условиях В2. То есть, снижение ростовой активности сопровождается заметным возрастанием активности синтеза вторичных веществ. Несмотря на снижение приживаемости культур в условиях А1 (с 80,0% в В2 до 50,0% в А1), сосна обыкновенная выдерживает эти стресс-условия и достигает к 21-летнему возрасту среднюю для района исследований высоту 4,4 м и диаметр 7,6 см. Можно добавить, что в этих условиях (А1) климатип сосны обыкновенной происхождения из Литвы (северо-западный климатип) показал среднюю высоту – 1,9 м при содержании ПА в хвое 1,3%. То-есть, местный климатип способен более успешно адаптироваться к стрессовым условиям среды на фоне высокой пластичности вторичных веществ. Содержание белка в хвое побегов в условиях В2 и А1 отличается незначительно.

В большинстве случаев корреляционный анализ выявлял заметную негативную связь между ростовыми показателями деревьев и накоплением в хвое или лубе веществ вторичного обмена (табл. 3).

Таблица 3

**Корреляции Пирсона между ростовыми показателями деревьев сосны и содержанием в хвое и лубе разных групп флавоноидов**

Культура	Высота - ФЛ	Высота - ПА	Диаметр - ФЛ	Диаметр - ПА
В2, 5л, хвоя (35 дер.)	-	-0,325*	-	-
В2 бл, хвоя ПС, прирост, (37 дер.)	-0,372**	-0,448**	-	-
А1, 21г, хвоя (26 дер.)	-0,335*	-0,321	-0,346*	-0,428**
В2, 21 г, луб (27 дер.)	-	-0,046	-	-0,268

Примечание : Достоверность различий\* \*\* $p \leq 0,05$ ; 0.01.

Считается, что рост и устойчивость являются результатом сложных взаимодействий между биохимическими, энергетическими и средовыми факторами [7]. Биосинтез вторичных веществ требует значительных энергетических затрат, при этом основное количество доступных растению ресурсов использует первичный метаболизм. Если ростовая активность является высокой, образование вторичных веществ может быть ограничено сокращением доступных для этих веществ субстратов [9]. Так как энергетический потенциал клеток апикальных и боковых меристем плюсовых деревьев по сравнению с минусовыми более высокий, то в онтогенезе это проявляется в возможности активнее использовать первичный метаболизм на повышение вегетативной продуктивности особи. Исходно более низкий энергетический уровень у минусовых деревьев не может обеспечить такую скорость ростовых процессов [13]. С другой стороны, интенсивность образования вторичных метаболитов усиливается с возрастом. Продолжительность жизни минусовых деревьев, как известно, меньше. Признаком более быстрого старения является то, что с возрастом их клетки начинают синтезировать все больше вторичных веществ.

Детальный анализ состояния индивидуальных деревьев по их устойчивости к биотическим повреждениям показал, что помимо общего содержания количественно ведущей группы вторичных веществ (ПА) имеют значение некоторые качественные особенности строения этой сложной группы, состоящий из простых и полимеризованных катехинов. К наиболее важным свойствам этих структур относятся их антиоксидантная активность, наиболее высокая характерна для (+) -катехина, несколько более низкая для (-) -эпигаллокатехина [8]. Участие этих компонентов в структуре ПА выявляется после проведения кислотного гидролиза экстракта хвои (или других тканей сосны) как антоцианидины соответствующей структуры гидроксирования кольца В молекул этих веществ – дельфинидина (тригидроксирование кольца В, аналог (-) -эпигаллокатехина) и цианидина (дигидроксирование кольца В, аналог (+)-катехина) [8,14]. Только при повышенном уровне (+) -катехина в составе ПА проявляются защитные функции, как при заболевании шютте обыкновенным (*Lophodermium seditiosum*), так и устойчивости к сосновому шелкопряду (*Dendrolimus pini*) [5]. Анализ ANOVA показал достоверное влияние этого показателя на устойчивость к шютте об.: снижение уровня (+)-катехина в составе ПА проявилось в повышении восприимчивости к заболеванию, которое составило 6,0% для белгородского климатипа; 10,0% для местного (юго-восточный) и 60,0% для восточного (кокчетавский). Низкие коэффициенты вариации определяемых компонентов указывают на устойчивое сохранение особенностей структуры ПА, характерной для исходного материнского насаждения (табл. 4). Низкий уровень вариабельности дельфинидина (аналог (-)-эпигаллокатехина) в составе ПА после проведения гидролиза экстракта хвои ( $CV=2,0-5,0\%$ ), установлен для популяций *Pinus uncinata*, произрастающих во французских Альпах [14].

Таблица 4

**Хроматографический анализ связанной формы ПА хвой климатипов сосны обыкновенной, показавших разную степень восприимчивости к заболеванию шютте обыкновенное**

Климатип, (восприимчивость)	Д	С	%С	ANOVA	Фкрит.	Ффакт.
Белгородский (6,0%)	0,83+0,10 (12,0%)	0,47+0,03 (6,4%)	0,56+0,03 (5,3%)	Д	3,467	18,59*
Юго-вост (Изюм) (10%)	0,75+0,04 (5,3%)	0,23+0,03 (13,0%)	0,30+0,02 (6,6%)	С	3,467	327,35**
Восточный (Кокчетавский) (60,0%)	0,58=0,08 (13,7%)	0,12+0,03 (15,0%)	0,20+0,03 (15,0%)	%С	3,467	268,48**

Примечания: продукты гидролиза ПА: Д-дельфинидин, аналог (-)-эпигаллокатехина; С – цианидин, аналог (+)-катехина; %С – отношение С : Д.

% восприимчивости климатипов указан в скобках

Анализ ANOVA- влияние происхождения климатипов на уровень синтеза компонентов в хвое.

Достоверность различий\* \*\* $p \leq 0,05$ ;  $0,01$ .

Данные таблицы 4 показывают очень высокий уровень отличий между культурами сосны разного происхождения. Низкий уровень вариабельности структур, обнаруживаемых после гидролиза в составе ПА, позволяет рассматривать показатель соотношения компонентов как наследуемый признак, определяемый особенностями материнского насаждения.

Особенностью катехинов, составляющих основу ПА, является активное поглощение для их синтеза наиболее опасной УФ-Б части солнечного спектра (280-290 нм) [15]. Синтез наиболее распространенной в растениях группы ФЛ (кверцетин и его производные) осуществляется при менее опасной длине волны – 360,0 нм. Таким образом, вторичные метаболиты оказывают многофункциональное влияние на растительный организм, так как связаны с ростовыми показателями, функциями защиты от болезней, вредителей, а также от УФ-Б радиации. Вероятно, насаждения, которые рассматриваются как источники получения семенного материала, желательно оценивать с точки зрения накопления вторичных веществ на популяционном уровне, то есть уровне, закрепленном генетически в данном местообитании и данном материнском насаждении.

При выборе древесных пород для создания полезащитных лесополос желательно использовать породы, синтезирующие в листьях заметное количество катехинов и ПА, учитывая способность этих структур поглощать УФ-Б радиацию и при определенной структуре полимерных ПА снижать восприимчивость культур к ряду распространенных болезней и вредителей. Однако, эти особенности вторичных метаболитов учитывается не всегда. Например, согласно инвестиционному проекту, разработанному в Москве в 2002г., составленному для Воронежской области по теме «Поглощение парниковых газов лесополосами на сельскохозяйственных землях» [6], основную часть лесополос предполагается создавать из тополя (3350 га) и лишь незначительную часть из сосны (350 га). Авторы проекта, учитывая высокую ростовую активность видов тополя, не акцентируют внимание на ряде других не менее важных факторов: пониженная способность поглощать углекислый газ, а также на то, что создание плантаций тополя, выполняется, как правило, черенкованием. Это сопровождается некоторой потерей генетического разнообразия, необходимого для поддержания устойчивости насаждения. При этом, даже такой устойчивый вид, как

тополь черный (*Populus nigra*), является восприимчивым к большому числу болезней и вредителей [10].

### Выводы

Средообразующая роль ползащитных лесных полос, созданных в 50-80 гг. XX века на территории Среднерусской лесостепи, по значимости многократно возросла в связи с потеплением регионального климата, низким уровнем лесистости (ниже оптимума втрое), высокой распаханности земель ( $\approx 70,0\%$ ), интенсивным в отличие от агроценозов углерод-депонирующим эффектом. Среди лесообразующих пород данного района сосна обыкновенная характеризуется наиболее высокой депонирующей способностью по сравнению с тополем. Помимо этого в листьях тополя не обнаружены свободные и полимеризованные катехины [4], активно синтезируемые в хвое, перидерме, лубе деревьев сосны. Это важно в плане сохранения устойчивости в условиях уменьшения озонового слоя и повышения уровня УФ-Б-радиации в атмосфере в условиях изменения климата. Интенсивность данных процессов в обоих типах лесополос зависит от морфометрических характеристик деревьев. Однако, из-за более низкой способности поддерживать экологический баланс, лесные полосы из тополя могут быть менее эффективными, чем лесополосы, созданные из сосны обыкновенной.

### Список литературы

1. Беликов В.В. Оценка содержания флаванолол-производных в плодах *Silybum marianum* (L.) Gaerth. // Растительные ресурсы. – 1985. – Выпуск 3. – С. 350-358.
2. Бузун Г.А., Джемухадзе К.М., Милешко Л.Ф. Определение белка в растениях с помощью амидо-черного // Физиология растений. – 1982. – Т. 29. – С. 350-358.
3. Драгавцев В.А., Кучерена Н.В. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. – СПб: Изд-во СЦДБ, 2008. – 86 с.
4. Лобанова И.Ю., Турецкая В.Ф. Выделение и изучение состава флавоноидов листьев осины обыкновенной // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 2-28.
5. Полякова Л.В., Журова П.Т. Роль фенольных соединений в устойчивости географических культур сосны обыкновенной // Лесоведение. – 2012. – № 1. – С. 22-28.
6. Стеценко А.В. рук. Проекта «Поглощение парниковых газов лесополосами на сельскохозяйственных землях». – Москва: Центр экологической политики России, 2002. – ISBN 5-88971-025-7.
7. Эзау К. Анатомия семенных растений. – Т. 1. – Москва: Мир, 1980. – 218 с.
8. Bors W., Michel Ch. Antioxidant capacity of flavanols and gallate esters: pulse radiolysis studies // Free Radical Biology and Medicine. – 1999. – Vol. 27. – P. 1413-1426.
9. Caretto S., Linsalata G., Mita G., Lattanzio V. Carbon fluxes between primary metabolism and phenolic pathway in plant tissues under stress // Int. J. Mol. Sci. – 2015. Vol. 16. – P. 26378-26394.
10. De Rigo D., Enescu C.M., Caudullo G. *Populus nigra* in Europe: distribution, habitat, usage and threats // <https://www.researchgate.net/publication/299470696> (2016).
11. Forrest I., Burg K., Klumpp R. Genetic markers: tools for identifying and characterizing Scots pine populations // Invest. Agr.: Sist. Recur. For. – 2000. – Vol. 9 (1). – P. 67-88.
12. Huitao Sh., Zhang W., Yang X., Liu X., Cao J., Zhao X., Chen X. Carbon storage capacity of different plantation types under sandstorm source control program in Hebei Province, China // Chinese Geographical Science. – 2014. – Vol. 24. – Is. 4. – P. 454-460.



13. *Kuznetsova N.F.* Introduction to the three-plane corpuscular-wave biology of forest tree species. – New York: Nova Science Publ. – 357 p.

14. *Laurenson J., Lebreton Ph.* Flavonoid variability within and between natural populations of *Pinus uncinata* // *Biochem. Syst. And Ecol.* – 1991. – Vol. 19 (9). – P. 659-664.

15. *Trost Sedej T.* Broadleaf and conifer tree responses to long-term enhanced UV-B radiation in outdoor experiments: a review // *Acta biologica Slovenica.* – 2014. – Vol. 57 (2). – P. 13-23.

*Статья поступила в редакцию 03.02.2020 г.*

**Polyakova L.V., Kuznetsova N.F. Second metabolites of Scots pine and their role in increase resistance of forest belts** // *Bull. Of the State Nikita Botan. Gard.* – 2020. – №136. – P. 140-147.

Forest is one of the most effective ways for mitigating elevated CO<sup>2</sup> concentration in the atmosphere. The ability of *Pinus Sylvestris* to grow in A1 arid conditions was studied. The accumulation of flavonols and proanthocyanidins in the pine-needles, periderm and phloem of shoots has been established. Resistance to diseases and pests depended from the structure characteristics of the polymerized form of catechins (proanthocyanidins). These compounds are capable to use UV-B waves for their synthesis and show very high antioxidant activity. The advantages of pine for creating of a band of trees compared to poplar species are discussed.

**Key words:** *Scots pine; Central Russian forest-steppe; forest belts; resistance; second metabolites.*