

- hozjajstva: mat-ly mezhdunar. konf. – Tbilisi, 2015. – S. 97–100.
7. Demidenko G.A. Izmenenie klimata v pozdnem plejstocene i golocene juga Prienisejskoj Sibiri. – Krasnojarsk, 2016. – 188 s.
 8. Iberla K. Faktornyj analiz. – M.: Statistika, 1980. – 398 s.
 9. Kind N.V. Geohronologija pozdnego antropogena po izotopnym dannym. – M.: Nauka, 1974. – 225 s.
 10. Nejshtadt M.I. Istorija lesov i paleogeografija SSSR v golocene. – M.: Izd-vo ANSSR, 1957. – 403 s.
 11. Hotinskij N.A., Nejshtadt M.I. Golocen Severnoj Evrazii. – M.: Nauka, 1977. – 198 s.
 12. Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth dynamics of conifer tree rings // Ecological studies: analysis and synthesis. – 2006. – T. 183. – R. 23–27.
 13. Demidenko G.A. The larch evolution in structure of Siberian boreal forests during the Holocene (according to Data Base) // Larix-98: World Resources for Breeding, Resistance and Utilization. – 1998. – P. 29.
 14. Demidenko G.A. Influence of the Global Climate Change in the Late pleistocene and Holocene on the Evolution of Cryomorphie Soil of Central Siberian // Dynamics and Challenges of Cruosols: Third International Conference on Criopedology. – 2001. – P. 115.
 15. Demidenko G.A. Soil cover evolution in the Priyenissei Siberia in the Holocene // Soil conservation issues in Nordic countries. – 2005. – P. 26.



УДК 57.033

Е.В. Зубарева

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ КАРОТИНОИДОВ В ХВОЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ г. КРАСНОЯРСКА**

E.V. Zubareva

**THE VARIABILITY OF CAROTENOIDS CONTENT IN THE NEEDLES OF ORDINARY PINE
OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF KRASNOYARSK**

Зубарева Е.В. – канд. биол. наук, доц. каф. биологии с экологией и курсом фармакогнозии Красноярского государственного медицинского университета им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск. E-mail: ekaterina041079@mail.ru

Zubareva E.V. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Biology with Ecology and a Course of Pharmacognosy, Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voyno-Yasenetsky, Krasnoyarsk. E-mail: ekaterina041079@mail.ru

Изучение растений природной флоры, их региональных особенностей химического состава и питательной ценности является актуальной задачей, направленной на биоиндикацию, развитие промышленности, сельского хозяйства и сохранение здоровья человека. Среди современных проблем человечества наиболее важной является проблема ухудшения состояния окружающей среды. Она носит глобальный характер и особенно остро стоит

в крупных городах, краевых и областных центрах. По данным многолетних наблюдений за загрязнением приземного слоя атмосферы, последние 14 лет в Красноярске сохраняется неблагоприятная обстановка, уровень загрязнения атмосферного воздуха характеризуется как «чрезвычайно высокий» и «очень высокий». Основным загрязнителем города и его окрестностей является Красноярский алюминиевый завод «Русал». Техногенную на-

грузку на прилегающие ландшафты усиливают такие предприятия, как ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ЦБК и др. Изучение состояния пигментной системы листьев информативно в целях установления степени вредности поллютантов, возможных путей адаптации к ним растений, а также нормирования и прогнозирования антропогенных нагрузок в условиях окружающей среды. В связи с этим в 2015 г. нами были начаты исследования содержания каротиноидов в хвое сосны обыкновенной г. Красноярска и его пригорода. Объектом исследования послужили 25 деревьев III класса бонитета, естественно произрастающих в г. Красноярске (Академгородок) и удаленных от города по розе ветров на некотором расстоянии: хр. Торгашинский, кордон Лалетино (заповедник «Столбы»), п. Березовка, Овсянка. Результаты исследования показывают негативное влияние воздушных масс города на содержание каротиноидов в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в самом городе и непосредственной близости от него. С увеличением расстояния до 9 км (кордон Лалетино) достоверного влияния атмосферного загрязнения на содержание каротиноидов не выявлено.

Ключевые слова: каротиноиды, биологически активные вещества, техногенное загрязнение, количественное содержание, изменчивость.

The studying of plants of natural flora, their regional features of chemical composition and nutritional value is actual task directed on bioindication, development of industry, agriculture and preservation of health of the man. Among modern problems of the mankind the environment worsening is the most important one. It has global character and is particularly acute in large cities, regions regional and territory areas. According to long-term supervision over pollution of ground layer of the atmosphere previous 14 years in Krasnoyarsk the adverse situation remains, the level of pollution of atmospheric air is characterized as "extremely high" and "very high". The main pollutant of the city and

its vicinities is Krasnoyarsk Aluminium Plant "RUSAL". Technogenic load of adjacent landscapes is strengthened by such enterprises as CHPP-1, CHPP-2, CHPP-3, Pulp and Paper Mill, etc. The studying of condition of pigmentary system of leaves informatively for the establishment of degree of harm of pollutant, possible ways of adaptation to them of plants, and also rationing and forecasting of anthropogenous loadings in the conditions of environment. In this regard in 2015 we began researches of the maintenance of carotenoids in needles of ordinary pine in Krasnoyarsk and its suburbs. As object of research 25 trees of the third class of site class naturally growing in Krasnoyarsk (Academgorodok) and remote from the city on a wind rose at some distance served: Torgashino Ridge, Cordon Laletino (the reserve "Stolby"), the villages Beryozovka, Ovsyanka. The results of research show negative influence of air masses of the city on the maintenance of carotenoids in the needles of ordinary pine, growing in the city and direct proximity from it. With the increase in the distance up to 9 km (Laletino's cordon) reliable influence of atmospheric pollution on the maintenance of carotenoids was not found out.

Keywords: carotenoids, biologically active agents, technogenic pollution, quantitative contents, variability.

Введение. Среди современных проблем человечества наиболее важной является проблема ухудшения состояния окружающей среды. Она носит глобальный характер и особенно остро стоит в крупных городах, краевых и областных центрах. Под влияние антропогенного пресса попадают все составляющие биосферы, и в первую очередь – атмосфера [4]. Лес как сложная биологическая система находится в состоянии активного контакта с атмосферой и подвергается воздействию присутствующих в ней техногенных примесей. Лесные фитоценозы можно широко использовать в биоиндикационных целях для оценки экологической обстановки в техногенных ландшафтах [13]. В то же время химический состав и динамика содержания биологически активных веществ в растениях определяют их практическую ценность. Люди с давних времен для своих нужд используют лесные ресурсы, в частности древесину, но при существующих способах переработки древесно-

го сырья полезное использование его в России составляет около 50 %, а в Сибирском регионе – только лишь 1/3 часть биомассы дерева. Значительная часть потерь (15-20 %) приходится на так называемую древесную зелень [13], которая представляет собой хвою, листья и неодревесневшие побеги. Это единственный продукт в свежем виде, который можно использовать в течение всего года, к тому же древесная зелень является дешевым источником витаминов. Общая питательная ценность древесной зелени оценивается по содержанию в ней кормовых единиц. Питательная ценность сосновой зелени – 0,28 кормовых единиц в 1 кг, т. е. равна по питательной ценности пшеничной или ржаной соломе [7]. Зелень представляет собой сырье для получения витаминной муки, настоев, натуральных клеточных соков, различных паст, в том числе хлорофилло-каротиновой пасты и других экстрактов и медицинских препаратов [14]. Изучение растений природной флоры, их региональных особенностей химического состава и питательной ценности является актуальной задачей, направленной на биоиндикацию, развитие промышленности, сельского хозяйства и сохранение здоровья человека [5].

Научная новизна. Несмотря на большую изученность изменчивости в систематическом, лесоводственном и других аспектах, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) недостаточно изучена в изменчивости ее биохимического состава [1, 16]. Данные по каротиноидам в литературных источниках разрознены, а по Красноярскому краю нами не обнаружены. Хвоя – самый чувствительный орган, быстро реагирующий на условия окружающей среды и определяющий рост и развитие других органов растений [10]. Необходимы исследования зависимости содержания биологически активных веществ в хвое от эколого-географических и наследственных факторов.

Цель исследования: изучение изменчивости содержания каротиноидов в хвое сосны обыкновенной под влиянием атмосферного загрязнения в г. Красноярске и его пригороде.

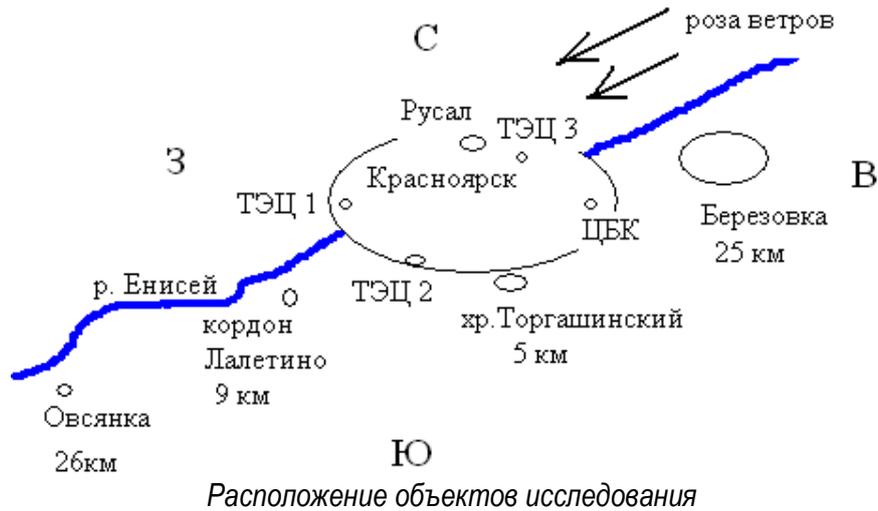
Задачи исследования: выбрать территорию исследования, собрать образцы хвои, определить количественное содержание каротиноидов в хвое, объяснить полученные результаты и сделать выводы.

Объекты, методы и результаты исследования. По данным многолетних наблюдений за загрязнением приземного слоя атмосферы, последние 14 лет в Красноярске сохраняется неблагоприятная обстановка, уровень загрязнения атмосферного воздуха характеризуется как «чрезвычайно высокий» и «очень высокий». Основными веществами, создающими такие уровни загрязнения атмосферы, являются бензапирен, формальдегид, взвешенные вещества, оксид азота, оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы [9, 15]. Основным загрязнителем города и его окрестностей является Красноярский алюминиевый завод «Русал», который является источником загрязнения фтором. Техногенную нагрузку на прилегающие ландшафты усиливают такие предприятия, как ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ЦБК, автотранспорт и др. (рис.). Изменение содержания и соотношения фотосинтетических пигментов в ассимилирующих органах служат тестом, позволяющим оценить различные дозы техногенного воздействия на растения [2]. Изучение состояния пигментной системы листьев информативно в целях установления степени вредности поллютантов, возможных путей адаптации к ним растений, а также нормирования и прогнозирования антропогенных нагрузок в условиях окружающей среды. Характеристика пигментных систем включает количественное определение в тканях растений хлорофилла а и b, их суммы (a+b) и содержание каротиноидов [6].

В связи с этим в 2015 г. нами были начаты исследования содержания каротиноидов в хвое сосны обыкновенной. Объектом исследования послужили 25 деревьев, естественно произрастающих в г. Красноярске (Академгородок) и удаленных от города по розе ветров на некотором расстоянии: хр. Торгашинский – 5 км, кордон Лалетино (заповедник «Столбы») – 9 км, п. Березовка – 25 км, п. Овсянка – 26 км. Сложности в определении расстояния от города до объектов исследования возникли с невозможностью отсчета от какой либо точки, так как город имеет протяженность вдоль р. Енисей и предприятия расположены как на левом, так и на правом его берегу. Поэтому расстояние примерное, и нагляднее расположение объектов представлено на схеме (см. рис.).

Деревья для взятия образцов подбирались с учетом возраста (приблизительно одного возраста), санитарного состояния – деревья I категории – без признаков ослабления (крона густая, хвоя (листва) зеленая, блестящая; прирост текущего года нормального размера для данной породы, возраста, сезона и условий местопроизрастания; стволы и корневые лапы не имеют внешних признаков поражения) [12]. Чтобы исключить другие экологические факторы

(освещенность, влажность и т. д.), образцы хвои для анализа брались с нижней части южного (освещенного) сектора кроны. Хвоя бралась у всех объектов в одно время (август), чтобы исключить сезонную динамику исследуемого показателя. Зафиксированные таксационные характеристики деревьев во время сбора образцов представлены в таблице 1 (возраст, высота, диаметр ствола).



Для исследования было взято 40 образцов с нормально развитой и здоровой хвоей второго года жизни. Каждый образец массой 40 мг тщательно измельчался и растирался в фарфоровой ступке с небольшим количеством песка и ацетона, затем полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр в мерную колбу на 25 мл, постепенно приливая ацетон до метки.

Количественное определение хлорофиллов и каротиноидов проводилось при помощи спектрофотометра LEKI SS2109UV. Спектрофотометрический анализ – наиболее точный количественный метод определения содержания пигментов листа. Концентрация пигментов на спектрофотометре определяется по оптической плотности. Плотность экстракта измеряется при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* и *b* в красной области спектра и при длине волны абсорбционного максимума каротиноидов. Концентрация пигментов рассчитывается для 100 %-го ацетона по уравнению Хольма – Веттштейна:

$$C_{\text{хл. a} + \text{хл. b}} = 5,134D_{662} + 20,436D_{644};$$

$$C_{\text{кар}} = 4,695D_{440,5} - 0,268C_{\text{хл. a} + \text{хл. b}},$$

где $C_{\text{кар}}$ – концентрация каротиноидов; D – экспериментально полученные величины оптической плотности при соответствующих длинах волн; $C_{\text{хл. a} + \text{хл. b}}$ – концентрация суммы хлорофиллов *a*, *b*, мг/л.

$C_{\text{кар}} : 40 \text{ мг} = A \% \text{ от сухого вещества}$ [3, 11]. В таблице 1 приводятся показатели содержания каротиноидов в хвое 25 объектов, произрастающих на разном удалении от краевого центра.

Каротиноиды – это большая группа желтых, оранжевых, красных пигментов алифатического строения, производные изопрена. Каротиноиды содержатся во всех высших растениях и у многих микроорганизмов. В зависимости от содержания кислорода в молекуле каротиноида различают каротины (например β -каротин), не содержащие кислорода, и ксантофиллы – содержащие кислород в форме гидрокси-группы или эпокси-группы. Каротиноиды – самые распространенные пигменты с разнообразными функциями. Защитная функция каротиноидов заклю-

чается в предохранении различных органических веществ, в первую очередь молекулы хлорофилла, от разрушения на свету в процессе фотоокисления. Фотопротекторная функция состоит в защите фотосинтетического аппарата от

излишка энергии возбуждения при высокой интенсивности света. Каротиноиды играют определенную роль в половом процессе растений [17, 18].

Таблица 1

Содержание каротиноидов в хвое *Pinus sylvestris* L.

Номер дерева	Возраст дерева, лет	Высота, м	Диаметр ствола, см	Содержание каротиноидов, % от сухого вещества	Каротиноиды, мг/л	Среднее содержание каротиноидов, % от сухого вещества
п. Березовка						
Б-1	70–80	22	25	0,0256	1,024	0,02508
Б-2	70–80	22	28	0,0262	1,048	
Б-3	70–80	16,5	16	0,021	0,84	
Б-4	70–80	22	33	0,027	1,08	
Б-5	70–80	21	22	0,0256	1,024	
Кордон Лалетино (заповедник «Столбы»)						
Л-1	70–80	19	31	0,023	0,92	0,02420
Л-2	70–80	21	34	0,021	0,84	
Л-3	70–80	16	31	0,0204	0,816	
Л-4	70–80	17	25	0,0316	1,264	
Л-5	70–80	16	30	0,025	1,00	
п. Овсянка						
О-1	70–80	21	31	0,021	0,84	0,02247
О-2	70–80	22	40	0,021	0,84	
О-3	70–80	21	33	0,02	0,80	
О-4	70–80	22	24	0,0299	1,196	
О-5	70–80	19	40	0,02045	0,818	
хр. Торгашинский						
Т-1	70–80	22	51	0,0183	0,732	0,01960
Т-2	70–80	23	50	0,022	0,88	
Т-3	90–100	23	56	0,0227	0,908	
Т-4	80–100	21	46	0,019	0,76	
Т-5	80–100	21	47	0,016	0,64	
г. Красноярск (Академгородок)						
К-1	70–80	21	35	0,0257	1,028	0,01908
К-2	70–80	22	26	0,0197	0,788	
К-3	70–80	16	10	0,0183	0,732	
К-4	70–80	22	34	0,014	0,56	
К-5	70–80	21	29	0,0177	0,708	

Как и ожидалось, количественное содержание каротиноидов в растениях незначительно и, подобно другим биологически активным веще-

ствам, подвержено колебаниям в зависимости от различных факторов [8].

Необходимо отметить, что в городе и пригороде преобладает юго-западная роза ветров, т. е. воздушные массы перемещаются в юго-западном направлении (рис.). Данные таблицы 1 показывают существенные отличия в содержании каротиноидов внутри каждой из 5 групп деревьев, средние же показатели во всех 5 пунктах сбора образцов отличаются незначительно. Максимальное содержание приходится на объект, наиболее удаленный от города, – п. Березовка (0,02508 %). По схеме рисунка видно, что поселок Березовка расположен в стороне от города и вне влияния господствующих воздушных течений. Наименьшие показатели каротиноидов отмечены для Академгородка (0,01908) и ближайших деревьев хр. Торгашинский (0,01960).

При сравнении выборок с целью получения достоверных результатов необходимо использовать математические методы. При одновременном сравнении более двух выборок применим однофакторный дисперсионный анализ, который позволяет установить достоверность эффекта влияния фактора (в нашем случае атмосферы, так как невозможно вычленишь в чистом виде какой-либо фактор). Используем программу Statistica 10.0 RU. Апостериорные (множественные) сравнения групповых средних значений признака с использованием критерия наименьшей значимой разницы для попарного сравнения выборок представлены в таблице 2.

Таблица 2

Апостериорные сравнения групповых средних значений признака с использованием критерия наименьшей значимой разницы

Пункты	Средние значения				
	(1) M=0,02508	(2) M=0,02420	(3) M=0,02247	(4) M=0,01960	(5) M=0,01908
Березовка (1)	–	0,712066	0,280016	0,030309	0,018972
Лалетино (2)	0,712066	–	0,470284	0,064459	0,041532
Овсянка (3)	0,280016	0,470284	–	0,236297	0,164726
Торгашинский хребет(4)	0,030309	0,064459	0,236297	–	0,827163
Красноярск (5)	0,018972	0,041532	0,164726	0,827163	–

Анализ таблицы 2 показывает, что достоверно отличаются между собой следующие объекты: Березовка – хр. Торгашинский, Березовка – Красноярск и Лалетино – Красноярск. Остальные объекты отличаются между собой недостоверно. Исходя из полученных результатов, видно, что с удалением от города на 9 км (кордон Лалетино) и более интенсивность влияния атмосферного загрязнения на содержание каротиноидов в хвое ослабевает.

Выводы

1. Результаты исследования показывают негативное влияние воздушных масс г. Красноярска на содержание каротиноидов в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в самом городе и непосредственной близости от

него. С увеличением расстояния до 9 км (кордон Лалетино) достоверного влияния атмосферного загрязнения на содержание каротиноидов не выявлено.

2. Исследования необходимо продолжить и расширить, так как знание степени устойчивости растений к атмосферному загрязнению необходимо для восстановления нарушенных фитоценозов и оценки возможности их использования в хозяйственной деятельности человека, медицине, сельском хозяйстве и в качестве биологически активной добавки к пище.

Литература

1. Антипова Е.М. Флора внутриконтинентальных северных лесостепей Средней Сибири. – Красноярск, 2012. – С. 121.

2. Воейков А.И. Антропогенное воздействие человека на природу. – М.: Мир, 1987. – 496 с.
3. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. – М., 1975. – 391 с.
4. Зубарева Е.В., Левина Р.М. Содержание каротиноидов в хвое климатипов сосны обыкновенной в условиях Минусинского лесхоза // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Вып. 14: в 2 т. / отв. ред. В.В. Аношин. – Абакан: Изд-во ЧГУ им. Н.Ф. Катанова, 2010. – Т. 1. – С. 17–18.
5. Зубарева Е.В., Сакилиди В.Т., Левина Р.М. Содержание каротиноидов в хвое географических культур *PINUS SYLVESTRIS* L. в условиях Минусинского лесхоза (Красноярский край) // Вестн. КрасГПУ им. В.П. Астафьева. – 2010. – № 3. – С. 235–240.
6. Лапина Г.П., Чернавская Н.М., Литвиновский М.Е. и др. Влияние нефти на пигментный состав сосны обыкновенной – *Pinus sylvestris* – URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/053.pdf>.
7. Левин Э.Д., Репях С.М. Переработка древесной зелени. – М.: Лесная промышленность, 1984. – С. 24–26.
8. Макаров А.А. Биологически активные вещества в растениях Якутии / Якутский научный центр СО АН СССР. – Якутск, 1989. – С. 33–80.
9. О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2006: гос. докл. / Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Красноярскому краю. – Красноярск, 2007. – 232 с.
10. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. – М.: Наука, 1964. – 192 с.
11. Третьяков Н.Н., Карнаухов Т.В. и др. Практикум по физиологии растений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 90–98.
12. Санитарные правила в лесах Российской Федерации (ред. от 20.01.1995) (утв. Приказом Рослесхоза от 18.05.92 № 90). – URL: <http://zakonbase.ru/content/part/74090>.
13. Степень Р.А., Репях С.М. Возможности и перспективные направления утилизации древесной зелени пихты // Вестн. СибГТУ. – 1999. – № 1. – С. 3–5.
14. Томчук Р.И. Комплексное использование лесосечных отходов. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 92 с.
15. Цветков В.Ф. К организации локального лесного мониторинга в условиях Севера // Проблемы лесопатологического мониторинга в таежных лесах европейской части СССР. – Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ АН СССР, 1991. – С. 58–60.
16. Черепнин Л.М. Флора южной части Красноярского края. – Красноярск, 1957. – Т. 1. – С. 72.
17. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / отв. ред. Л.И. Милютин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т леса им. В.Н. Сукачева; Сиб. гос. технол. ун-т, Сиб. федер. ун-т. – Новосибирск: Гео, 2009. – 179 с.
18. Якушкина Н.И. Физиология растений. – М.: Высш. шк., 2005. – С. 140–142.

Literatura

1. Antipova E.M. Flora vnutrikontinental'nyh severnyh lesostepej Srednej Sibiri. – Krasnojarsk, 2012. – 121.
2. Voejkov A.I. Antropogennoe vozdejstvie cheloveka na prirodu. – М.: Mir, 1987. – 496 s.
3. Gavrilenko V.F., Ladygina M.E., Handobina L.M. Bol'shoj praktikum po fiziologii rastenij. – М., 1975. – 391 s.
4. Zubareva E.V., Levina R.M. Soderzhanie karotinoidov v hvoe klimatipov sosny obyknovennoj v uslovijah Minusinskogo leshoza // Jekologija Juzhnoj Sibiri i sopredel'nyh territorij. Vyp. 14: v 2 t. / отв. red. V.V. Anjushin. – Abakan: Izd-vo ChGU im. N.F. Katanova, 2010. – Т. 1. – S. 17–18.
5. Zubareva E.V., Sakilidi V.T., Levina R.M. Soderzhanie karotinoidov v hvoe geograficheskikh kul'tur *PINUS SYLVESTRIS* L. v uslovijah Minusinskogo leshoza (Krasnojarskij kraj) // Vestn. KrasGPU im. V.P. Astaf'eva. – 2010. – № 3. – S. 235–240.
6. Lapina G.P., Chernavskaja N.M., Litvinovskij M.E. i dr. Vlijanie nefi na pigmentnyj sostav sosny obyknovennoj – *Pinus sylvestris*. – URL:

- <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/053.pdf>.
7. Levin Je.D., Repjah S.M. Pererabotka drevesnoj zeleni. – M.: Lesnaja promyshlennost', 1984. – S. 24–26.
 8. Makarov A.A. Biologicheski aktivnye veshhestva v rastenijah Jakutii / Jakutskij nauchnyj centr SO AN SSSR. – Jakutsk, 1989. – S. 33–80.
 9. O sotojanii i ohrane okruzhajushhej sredy Krasnojarskogo kraja v 2006: gos. dokl. / Glavnoe upravlenie prirodnyh resursov i ohrany okruzhajushhej sredy MPR Rossii po Krasnojarskomu kraju. – Krasnojarsk, 2007. – 232 s.
 10. Pravdin L.F. Sosna obyknovennaja. – M.: Nauka, 1964. – 192 s.
 11. Tret'jakov N.N., Karnauhov T.V. i dr. Praktikum po fiziologii rastenij. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Agropromizdat, 1990. – S. 90–98.
 12. Sanitarnye pravila v lesah Rossijskoj Federacii (red. ot 20.01.1995) (utv. Prikazom Rosleshoza ot 18.05.92 № 90). – URL: <http://zakonbase.ru/content/part/74090>.
 13. Stepen' R.A., Repjah S.M. Vozmozhnosti i perspektivnye napravlenija utilizacii drevesnoj zeleni pihty // Vestn. SibGTU. – 1999. – № 1. – S. 3–5.
 14. Tomchuk R.I. Kompleksnoe ispol'zovanie lesosechnyh othodov. – M.: Lesnaja promyshlennost', 1968. – 92s.
 15. Cvetkov V.F. K organizacii lokal'nogo lesnogo monitoringa v uslovijah Severa // Problemy lesopatologicheskogo monitoringa v taezhnyh lesah evropejskoj chasti SSSR. – Petrozavodsk: Izd-vo Karel'skogo NC AN SSSR, 1991. – S. 58–60.
 16. Cherepnin L.M. Flora juzhnoj chasti Krasnojarskogo kraja. – Krasnojarsk, 1957. – T. 1. – S. 72.
 17. Jekologicheskoe sostojanie prigorodnyh lesov Krasnojarska / otv. red. L.I. Miljutin; Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, In-t lesa im. V.N. Sukacheva; Sib. gos. tehnol. un-t, Sib. feder. un-t. – Novosibirsk: Geo, 2009. – 179 s.
 18. Jakushkina N.I. Fiziologija rastenij. – M.: Vyssh. shk., 2005. – S. 140–142.

