

УДК 581.1: 582.475:57.045:87.35.91

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕТНЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА

© 2015 Е.С. Овечкина, Р.И. Шаяхметова

Нижевартровский государственный университет

Поступила в редакцию 21.05.2015

Дан сравнительный анализ изменения содержания фотосинтезирующих пигментов в двухлетней хвое сосны обыкновенной в зависимости от места произрастания и периода вегетации. Проанализированы перспективы использования этих показателей как фитоиндикаторов загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, хвоя, пигменты, хлорофилл, каротиноиды, фитоиндикация

Исследование пигментов фотосинтеза растений играют важную роль для понимания характера их «ответа», как важных биоиндикаторов, на изменяющиеся условия макро-, микроклимата и степени загрязнения окружающей среды. Известно, что содержание хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки – является одним из показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям [15]. Необходимость изучения сезонных изменений содержания пигментов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на территории Нижневартовского района, была определена тем, что в северных условиях отмечаются очень сильные колебания освещённости и температуры [6, 12]. Изучение влияния изменений метеоусловий на содержание хлорофиллов и каротиноидов у сосны в различные периоды вегетации и при антропогенной нагрузке остается актуальным.

Цель исследования: изучение сезонной динамики содержания пигментов в хвое *P. sylvestris* в различных условиях антропогенной нагрузки, и определение возможности использования этих показателей для фитоиндикации среды.

Характеристика района исследования. Нижневартовский район расположен в центральной части Западно-Сибирской равнины, в средней и северной подзонах таежных лесов.

Пробные площади располагались в подзоне средней тайги. Природные условия исследуемого района характеризуются суровыми климатическими условиями: большой продолжительностью зимнего периода (до 255 дней), низкими

температурами (+4-7°C), обилием осадков (650-700 мм в год) и низким уровнем поступления солнечной радиации. Равнинность и особенности климата района исследований обуславливают высокую заозеренность и заболоченность [13].

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в 2012-2013 гг. на территории Нижневартовского района. Пробные площадки располагались одновременно в трех взаимосвязанных направлениях. Контрольный участок находился на территории учебно-полевой базы «Церковная грива» в юго-западном направлении от города, а опытные – на территории г. Нижневартовска и Саянск-Туркестанского месторождения (рис. 1). Количество хлорофиллов *a*, *b* и сумму каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом в трёхкратной повторности на хвое второго года жизни сосны обыкновенной. Сущность метода заключается в получении ацетоновой вытяжки и в измерении оптической плотности экстракта пигментов на спектрофотометре SPECORD 30 Analytik Jena (Германия) при длинах волн поглощения 662, 644 и 440,5 нм, соответственно. Концентрацию пигментов рассчитывали по уравнению Хольма-Ветштейна [9]. Оценка состояния относительной влажности воздуха, освещённости и температуры проводили по общепринятым методикам, с помощью приборов: люксметр (testo 540), измеритель температуры и относительной влажности воздуха (kimo kistock KH-100). Всего при исследовании было обработано 486 проб.

Результаты исследований и их обсуждение. Вегетационный период 2012 г. оказался жарким, среднемесячная температура воздуха была – 25,8°C, относительная влажность составила 51,4%. В 2013 г. в период активной вегетации метеоусловия были более благоприятными, отличались стабильной температурой и умеренной влажностью (табл. 1). Средняя инсоляция – 2,58 кВтч / м² / день.

Овечкина Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии. E-mail: pinus64@mail.ru
Шаяхметова Раиса Иршатовна, инженер-техник научно-исследовательской лаборатории геоэкологических исследований. E-mail: 19raj83@rambler.ru

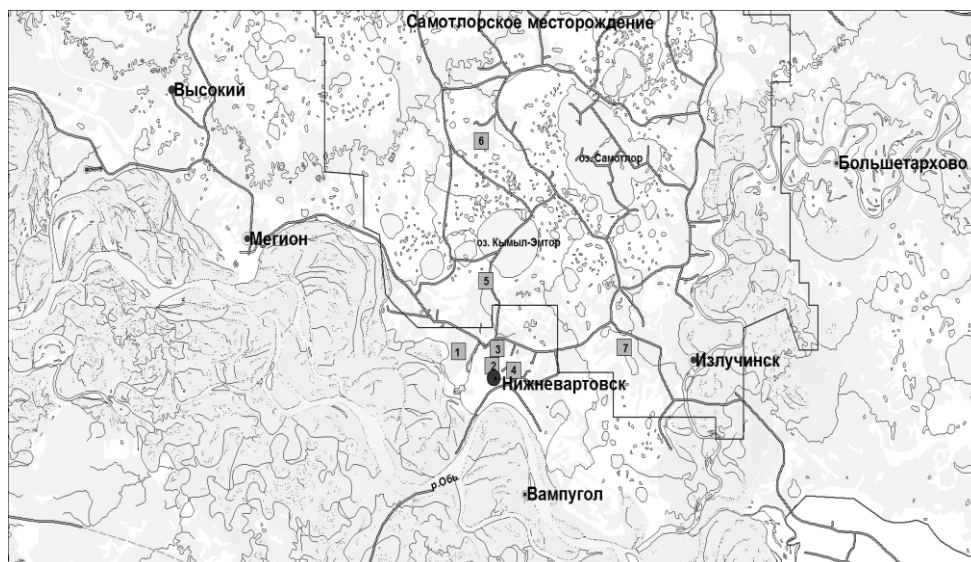


Рис. 1. Экспериментальные участки на территории Нижневартовского района

Таблица 1. Климатические данные в летне-зимний период за 2012-2013 гг.

время сбора	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
	декабрь		январь		февраль		июнь		июль		август	
освещён- ность* (слк)	21,20	25,62	24,25	33,18	43,24	51,79	97,63	119,01	84,22	105,40	94,43	97,87
температура (t, °C)	-23,62	-11,93	-21,81	-24,56	-17,57	-15,59	+22,24	+13,30	+25,60	+20,93	+14,75	+16,42
относитель- ная влаж- ность воздуха (%)	81,35	93,64	96,63	76,91	84,54	73,44	36,11	79,11	54,57	48,81	73,73	56,67

Примечание: *люкс переведен в сантилюкс сайт: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> дата обращения: 13.03.2015 г.

Согласно полученным данным, общее содержание пигментов в хвое второго года вегетации во всех вариантах имело динамичный характер (рис. 2). Стоит отметить, что с уменьшением температурного режима и интенсивности освещения наблюдается и снижение в содержании хлорофиллов [6]. Максимум накопления *Ch a* в хвое *P. sylvestris* был отмечен в июле, минимум приходится на декабрь. Содержание *Ch b* в хвое также было подвержено сезонным изменениям. Как следует из представленных материалов, динамика накопления *Ch b* мало отличается от накопления *Ch a*. Сравнительно низкую их концентрацию наблюдали в декабре 2012 г., 2013 г. – в январе, максимальные значения зафиксированы в июле. Возможно, это связано с тем, что в конце июля заканчивается формирование фотосинтетического аппарата хвои. Кроме того, необходимо отметить, что июль более благоприятен по температурным условиям для роста растений в условиях Среднего Приобья.

Динамика изменения каротиноидов имела другую закономерность. В зимний период пигментный аппарат сосны характеризуется более высокими показателями содержания каротиноидов. Высокие показатели значений зимой обусловлены тем, что в этот период желтые пигменты

сохраняют хлорофиллы от избытка солнечной радиации, так как помимо роли пигментов, каротиноиды еще и участвуют в защите клеток от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды [14].

В контрольных условиях в течение всего периода вегетации содержание *Ch a* было максимально 1,87-1,92 мг/г. В условиях города и техногенного загрязнения их содержание сокращалось: 1,67-1,82 мг/г и 1,25-1,70 мг/г. Зимой содержание *Ch a* падало: 0,09-0,11 мг/г в контроле, 0,05-0,08 мг/г в городской среде, 0,04-0,05 мг/г в техногенной среде (рис.3). С началом зимы, когда устанавливается отрицательный температурный режим, в хвое *P. sylvestris* хлоропласты группируются у клеточных стенок и около ядра, синтез пигментов в это время сводится к минимуму [12].

Закономерности в содержании *Ch b* в хвое *P. sylvestris* во всех вариантах были такие же, что и для *Ch a*, 0,96-0,98 мг/г со средним уровнем загрязнения, а в контроле отмечается небольшое увеличение размеров этого показателя – 1,03-0,98 мг/г (рис. 4).

Как свидетельствуют литературные данные, содержание пигментов в древесных растениях может даже расти в условиях хронического загрязнения

атмосферы, что может быть связано с накоплением продуктов окисления углеводов, органических кислот цикла Кребса, продуктов гидролиза белков (глицерин, пролин), необходимых для синтеза этих пигментов [1, 17]. Некоторые авторы отмечают, что содержание *Ch a* варьирует сильнее, чем *Ch b* [5, 19]. Это может быть связано с тем, что молекулы *Ch a* менее устойчива, чем молекулы *Ch b*.

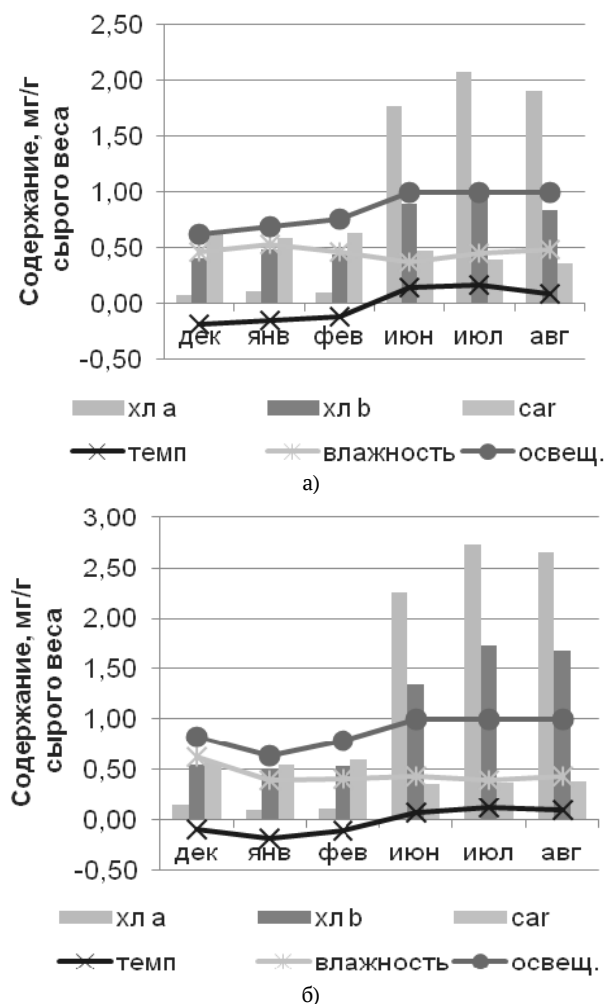


Рис. 2. Динамика общего содержания пигментов в хвое сосны обыкновенной (декабрь-август): а) 2012 г., б) 2013 г.

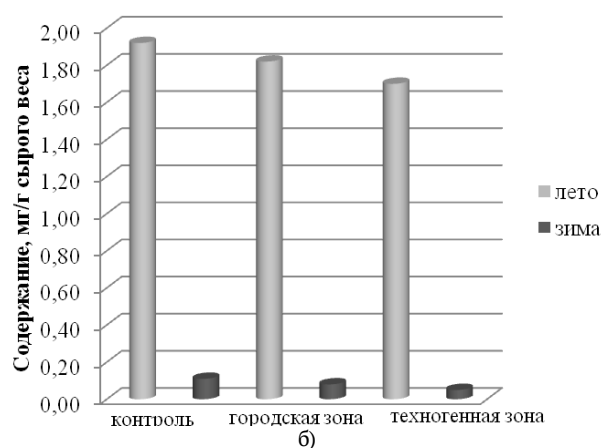
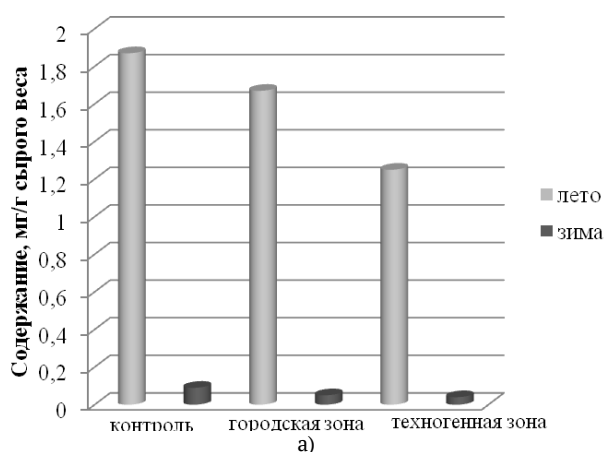


Рис. 3. Сезонное содержание хлорофилла *a* в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в разных экологических условиях: а) 2012 г., б) 2013 г.

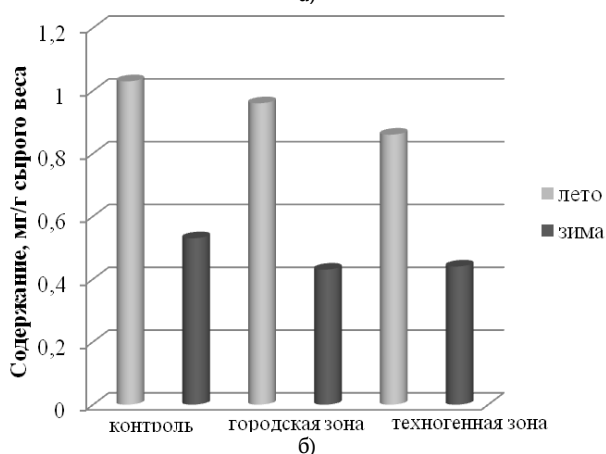
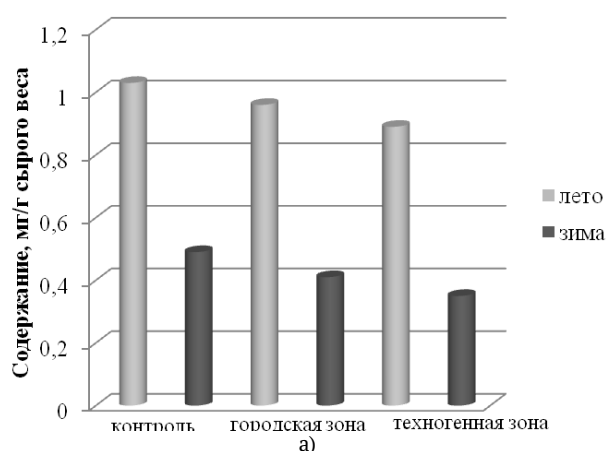


Рис. 4. Сезонное содержание хлорофилла *b* в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в разных экологических условиях: а) 2012 г., б) 2013 г.

Обязательным компонентом пигментной системы растений являются каротиноиды. Снижение содержания каротиноидов в ассимиляционных органах растений, напротив, наблюдали летом, в городской среде – 0,34-0,35 мг/г, в техногенной – 0,24-0,29 мг/г, по сравнению с контролем, где содержание составило – 0,39-0,37 мг/г. Падение содержания каротиноидов у растений, которые растут в загрязненных зонах, указывают Н.В. Гетко (1989), К.А. Васильева, Г.А. Зайцев, А.Ю. Кулагин

(2011). Содержание каротиноидов зимой по сравнению с летом выше вне зависимости от места произрастания: от 0,57 мг/г до 0,73 мг/г (рис. 5). Как правило, максимальное их содержание наблюдается в наиболее критические погодноклиматические периоды, что подтверждает их защитные функции [18].

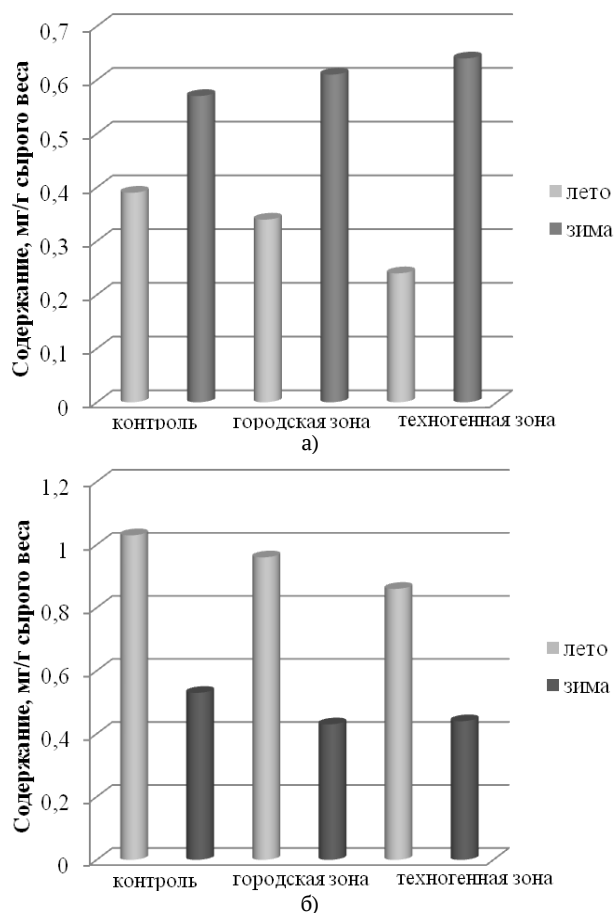


Рис. 5. Сезонное содержание каротиноидов в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в разных экологических условиях: а) 2012 г., б) 2013 г.

Широтно-зональные изменения климатических параметров так же отражаются на пигментной системе *P. sylvestris*. В табл. 2 представлены сведения авторов в работах, которых были приведены данные о содержании пигментного комплекса сосны обыкновенной [3, 7, 10, 16]. Как видно, все данные по содержанию и накоплению пигментов значительно различаются. Наибольшими показателями характеризуются данные из Тверской области, а наименьшие – в Архангельской. В зимний период наши данные можно сравнить с Приморским краем. Нижневартовский район отличается высоким содержанием каротиноидов – выше более чем в три раза и низкими показателями содержания хлорофиллов *a* и *b*. Полученные данные свидетельствуют о том, что пигментный состав сосны обыкновенной зависит от комплекса климатических параметров и изменяется с географической широтой.

Полученные результаты показали, что у *P. sylvestris* наблюдается достаточно высокая корреляционная связь между климатическими параметрами и общим содержанием пигментов. Максимальные значения коэффициентов корреляции данных параметров мы наблюдали во всех изученных площадках вне зависимости от условий обитания (табл. 3, 4). Наблюдается прямая положительная корреляция между показателями температуры, освещенности и содержанием хлорофиллов *a* и *b*, общим содержанием пигментов, соотношением хлорофиллов *a* и *b* и соотношением суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам, вне зависимости от места произрастания. Отсутствует положительная корреляция между влажностью и содержанием хлорофиллов *a* и *b*, общим содержанием пигментов, соотношением хлорофиллов *a* и *b* и соотношением суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам.

Таблица 2. Данные по содержанию пигментов сосны обыкновенной в различных регионах

Авторы	Шаяхметова Р.И. Нижневартовский район		Зарубина Л.В. и др., г. Архангельск		Титова М.С., ДВО, Приморский край		Войцековская С.А. и др., г.Томск		Лапина Г.П. и др. Тверская область	
	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима	лето	зима
время сбора										
хлорофилл <i>a</i>	1,25	0,04	0,23	-	0,73	0,67	1,04	-	2,48	-
хлорофилл <i>b</i>	0,89	0,35	0,15	-	0,30	0,32	0,37	-	4,01	-
каротиноиды	0,24	0,64	0,50	-	0,19	0,22	2,84	-	0,56	-
Σ пигментов	2,38	1,03	0,88	-	1,22	1,21	4,25	-	7,05	-
<i>a/b</i>	1,40	0,11	1,53	-	2,43	2,09	2,81	-	0,62	-
<i>a+b/car</i>	8,92	0,61	0,76	-	5,42	4,90	0,50	-	11,58	-

Выводы: изучение зависимости содержания пигментов от условий местообитания сосны обыкновенной, показало, что наибольшую чувствительность к загрязнению ассимилирующий аппарат *P. sylvestris* обнаруживает летом, т.к. в это

время наблюдается увеличение содержания хлорофиллов, что связано с активной вегетацией и высоким уровнем инсоляции на территории. Проведенные исследования показали, что в летний период в хвое *P. sylvestris* уровень содержания

пигментов фотосинтеза меняется более динамично. Использование показателей содержания всех пигментов у сосны обыкновенной в фитоиндикации среды возможно круглогодично.

Работа выполнена в рамках исполнения основной части государственного задания № 2014/801 Минобрнауки РФ и при поддержке гранта РФФИ № 15-44-00028.

Таблица 3. Значение коэффициентов корреляции между климатическими данными и содержанием пигментов в хвое сосны обыкновенной (2012-2013 гг.)

Параметры		Ch a	Ch b	Car	Σ пигментов	Ch a/ Ch b	Ch a/+Ch b/car
Температура	контроль	0,99	0,99	-0,88	0,99	0,97	0,96
	городская зона	0,98	0,98	-0,96	0,99	0,98	0,97
	техногенная зона	0,99	0,97	-0,95	0,99	0,99	0,96
Влажность	контроль	-0,81	-0,85	0,62	-0,83	-0,77	-0,73
	городская зона	-0,80	-0,78	0,75	-0,80	-0,80	-0,75
	техногенная зона	-0,80	-0,75	0,70	-0,81	-0,19	-0,70
Освещение	контроль	0,95	0,92	-0,85	0,95	0,97	0,92
	городская зона	0,96	0,93	-0,95	0,95	0,97	0,95
	техногенная зона	0,95	0,92	-0,90	0,96	0,97	0,92

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Бухарина, И.Л. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) / И.Л. Бухарина, П.А. Кузьмин, И.И. Гибадулина // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2013. Вып. 1. С. 20-25.
- Васильева, К.А. Состояние пигментного комплекса ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения / К.А. Васильева, Г.А. Зайцев, А.Ю. Кулагин // Вестник МГУ – Лесной вестник. 2011. № 3. С. 51-55.
- Войцекоская, С.А. Исследование физиолого-биохимических показателей хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) болотных и лесных популяций / С.А. Войцекоская, Э.Р. Юмагулова, Е.Н. Сурнина, Т.П. Астафурова // Вестник Томского гос. ун-та. 2013. № 3 (23). С. 111-119.
- Гетко, Н.В. Структурные и функциональные особенности ассимиляционного аппарата растений в техногенных условиях: Автореф. дис. . докт. биол. наук. – Свердловск, 1991. 42 с.
- Горышина, Т.К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды. – Л.: Изд-во Ленигр. ун-та, 1989. 202 с.
- Завьялова, Н.С. Влияние освещенности на морфологические и физиологические свойства растений сосны обыкновенной / Н.С. Завьялова, В.И. Юшков // Экология. 1979. № 5. С. 39-45.
- Зарубина, Л.В. Особенности сезонной динамики пигментов в листьях растений сосняка кустарничково-сфагнового / Л.В. Зарубина, В.Н. Коновалов // Лесной журнал. 2009. № 4. С. 24-32.
- Кривошеева, А.А. Влияние промышленных загрязнений на сезонные изменения содержания хлорофилла в хвое сосны обыкновенной / А.А. Кривошеева, С.А. Шавнин, В.А. Калинин, П.С. Венедиктов // Физиология растений. 1991. Т. 38, вып.1. С. 163-167.
- Мусиенко, М.М. Спектрофотометрические методы в практике физиологии, биохимии и экологии растений / М.М. Мусиенко, Т.В. Паршинова, П.С. Славный. – М.: Фитософиоцентр, 2001. 200 с.
- Лапина, Г.П. Влияние нефти на пигментный состав сосны обыкновенной- *Pinus sylvestris* / Г.П. Лапина, Н.М. Чернавская, М.Е. Литвиновский, С.В. Сазанова // Электронный научный журнал "Исследовано в России". 2007. С. 569-580.
- Овечкина, Е.С. Морфологические изменения сосны обыкновенной на территории Нижневартовского района / Е.С. Овечкина, Р.И. Шаяхметова // Вест. Нижневарт. госуд. гуманит. ун-та. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. госуд. ун-та, 2013. С. 75-84.
- Собчак, Р.О. Биоиндикационное значение флуоресценции хлорофилла некоторых древесно-кустарниковых растений в зимний период / Р.О. Собчак, Ю.С. Григорьев // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14. № 1. С. 53-59.
- Природа, человек, экология: Нижневартовский регион / Под ред. Ф.Н. Рянского. – Нижневарт. гос. гуманит. ун-та. – Нижневартовск, 2007. 323 с.
- Стрижалка К. Каротиноиды растений и стрессовое воздействие окружающей среды: модуляция физических свойств мембран каротиноидами / К. Стрижалка, А. Костицка-Гугала, Д. Латовски // Физиология растений. 2003. Т. 53, № 3. С. 188-193.
- Суворова, Г.Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 195 с.
- Титова, М.С. Сезонная динамика содержания пигментов в хвое сосны сибирской (*Pinus sibirica*) и сосны корейской (*Pinus koraiensis*) // Вестник КрасГАУ. 2010. № 8. С. 77-81.
- Тужилкина, В.В. Пигментная система сосны обыкновенной в хвойных насаждениях европейского севера // Вопросы экологии лесных экосистем. Мат. научной конференции. – Сочи, 2001. С. 148-151.

18. Шаяхметова, Р.И. Динамика содержания марганца в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Нижневартковского района // Экология и природопользование в Югре: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 15-летию кафедры экологии СурГУ, (Сургут 24-25 октября 2014 г.) – Сургут: ИЦ СурГУ, 2014. С. 99-101.
19. Ярмишко, В.Т. Влияние промышленных выбросов на ассимиляционный аппарат *Pinus sylvestris* L. В *Vaccinium myrtillus* L. на Европейском Севере / В.Т. Ярмишко, Н.М. Деева, Е.А. Мазная, Г.Д. Леина // Раст. ресурсы. 1995. Вып. 3. С. 135-143.

**INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE PIGMENTS CONTENT
OF SCOTCH PINE IN SUMMER-WINTER PERIOD ON THE TERRITORY
OF NIZHNEVARTOVSK REGION**

© 2015 E.S. Ovechkina, R.I. Shayakhmetova

Nizhnevartovsk State University

The comparative analysis of changes in content of photosynthetic pigments in the needles of two-years Scotch pine, depending on the place of growth and season is given. The perspectives of using these indicators as phytoindicators of environment pollution are analyzed.

Key words: *Scotch pine, needles, pigments, chlorophyll, carotinoids, phytoindication*

Elena Ovechkina, Candidate of Biology, Associate Professor at the Ecology Department. E-mail: pinus64@mail.ru
Raisa Shayakhmetova, Engineer at the Scientific Research Laboratory of Geoecological Researches. E-mail: 19raj83@rambler.ru