

**АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ  
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYL VESTRIS L.*)  
НА ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА, ХМАО-ЮГРА**

**ANATOMICAL FEATURES OF NEEDLES OF COMMON PINE (*PINUS SYL VESTRIS L.*) GROWING  
IN THE NIZHNEVARTOVSK DISTRICT, KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS AREA-YUGRA**

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, биоиндикация, ассимиляционный аппарат, нефтяное загрязнение, антропогенная нагрузка, анатомия.

Изучены анатомические особенности хвои сосны обыкновенной как индикаторы загрязнения окружающей среды и биомаркеры функционального состояния растений, произрастающей в стрессовых условиях среды на территории Нижневартовского района. Показано, что наибольшей изменчивостью параметров анатомического строения имела хвоя в условиях антропогенного воздействия (город, нефтяной розлив, вблизи федеральной дороги). Происходило увеличение длины, толщины и ширины хвои, мезофилла, диаметра смоляных ходов. В среднем длина хвои второго года жизни на 20%, а третьего – на 30% больше, чем первого. Примерно такое же соотношение наблюдается при сравнении их ширины и толщины. Выявлено достоверное увеличение диаметра смоляных ходов в условиях города и нефтяного загрязнения. Отмечено разрастание флоэмы и сокращение ксилемы, так как происходят адаптивные преобразования данной структуры. Таким образом, проведенные исследования подтверждают высокую лабильность анатомических особенностей хвои сосны обыкновенной в условиях антропогенного воздействия.

*Keywords:* common pine, bio-indication, assimilation mechanism, oil pollution, anthropogenic load, anatomy.

The anatomic features of common pine needles serving as the pollution indicators and biomarkers of the plants' functional state under stressful environmental conditions in Nizhnevartovsk District have been studied. The study of needles shows that the pines growing under heavy anthropogenic impact (city, oil spills, and roads) have most variable anatomical parameters, such as increase in length, thickness and width of needles, mesophyll, and diameter of the resin channels. On average, the length of pine needles grows by 20% and by 30% during the second and third years of plant's life respectively in comparison to the first year. Almost the same ratio is observed when comparing the width and thickness of needles. A significant increase in the diameter of resin channels is observed in pines growing under urban and oil pollution load. The revealed growth of phloem and reduction of xylem are explained by adaptive transformation of this structure. Thus, the studies have confirmed high lability of anatomical features of common pine needles growing under anthropogenic impact.

**Шаяхметова Раиса Иршатовна**, инженер-техник, НИЛ «Геоэкологических исследований», Нижневартовский государственный университет, ХМАО-Югра, Тюменская обл. E-mail: 19raj83@rambler.ru

**Егорова Наталья Николаевна**, к.б.н., н.с., лаборатория лесоведения, Институт биологии, Уфимский научный центр РАН. E-mail: natalja.eg2010@yandex.ru.

**Shayakhmetova Raisa Irshatovna**, Engineering Technician, Geo-Ecological Research Lab., Nizhnevartovsk State University. Khanty-Mansiysk Autonomous Area-Yugra. E-mail: 19raj83@rambler.ru.

**Yegorova Natalya Nikolayevna**, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, Forest Science Lab., Institute of Biology, Ufa Scientific Center of the Rus. Acad. of Sci. E-mail: natalja.eg2010@yandex.ru.

### Введение

Сегодня территория Нижневартовского района – это территория интенсивного антропогенного воздействия. Более 50 лет здесь осуществляются разработка нефтяных месторождений и их промышленная эксплуатация. Лесные и болотные ценозы, прилегающие непосредственно к промышленным объектам или дорогам, имеют разную степень нарушенности – от слабой до сильной. Основными видами воздействия являются механические (рубки, отсыпки и т.д.) и химические, сопутствуют также пожары. Работы, посвященные изучению лесных и болотных

сообществ, стали появляться в конце 80-90-х годов прошлого столетия. Исследовались нарушенные и природные, естественные, территории. Выполнены описания растительных сообществ нефтяных месторождений Нижневартовского района (Самотлорское месторождение, Кечимовское, Советское и т.д.) [1].

К настоящему времени имеются достаточно много сведений о различных видах воздействия и описания природных комплексов. Большой вклад в изучение территории внесли ряд авторов: И.В. Таран, В.В. Плотников, Б.Е. Чижов, А.И. Захаров, В.Н. Седых. Ос-

новой целью всех работ было проведение оценки современного состояния и определение мер рационального использования лесных ресурсов на территории округа. Показано, что в ответ на факторы антропогенного воздействия растения, в том числе древесные, меняют морфологию, анатомию листьев, площадь ассимиляционного аппарата, функциональные особенности. В научной литературе отмечена высокая лабильность морфологии, анатомических параметров хвои сосны обыкновенной в различных условиях обитания, в том числе антропогенных [2-4].

Исследования по адаптации сосны обыкновенной к нефтяному загрязнению и оценке роли низкомолекулярных антиоксидантов в стрессовых реакциях на территории Среднего Приобья проводятся сравнительно недавно. Ранее нами были изучены морфология, пигментный состав сосны обыкновенной в зависимости от условий произрастания и сезона года [5]. Но исследований анатомических изменений сосны обыкновенной на территории Нижневартовского района до сих пор не проводилось, хотя известно, что развитие и функциональное состояние ассимиляционного аппарата являются важным показателем жизнеспособности растений. Особенности его развития определяют процессы фотосинтеза, транспирации, дыхания и биологическую их продуктивность. В связи с этим изучение особенностей анатомического строения хвои сосны обыкновенной является весьма актуальным.

**Цель работы** – проведение анализа изменений анатомического строения хвои *Pinus sylvestris* (L.), произрастающей на территории Нижневартовского района, ХМАО-Югра.

**Задачи** исследования:

- определение ключевых участков исследования (город Нижневартовск, месторождение, автотрассы) и сбор материала;
- проведение анатомических исследований хвои сосны обыкновенной по разным возрастным группам, ценозам и т.д.;
- проведение расчетов и анализ полученных данных.

**Краткая характеристика районов исследования.** Для изучения были выбраны четыре опытные площадки (ОП). Контрольным вариантом служил участок верхового болота учебно-полевой базы «Церковная Грива», расположенный в 12 км от г. Нижневартовска. Древесный ярус представлен сосной сибирской, сосной обыкновенной, елью сибирской, березой пушистой. Живой напочвенный покров представлен видами: багульник, брусника обыкновенная, хвощ лесной, черника, грушанка малая, кислица, пушица обыкновенная. Моховой покров из сфагнума и зеленых мхов.

Опытные площадки:

1. Район Комсомольского озера, расположенный в центре города. Береговая зона озера и прилегающая к ней претерпели значительные изменения. Небольшие участки с сохранившейся естественной растительностью располагаются мозаично между дорогами и застройками у озера. Лесные участки составлены в основном производными лесами с березой пушистой, осинкой, ивой и небольшим участием сосны обыкновенной. Сомкнутость сообществ выше в молодняках, а на участках с участием сосны – не более 0,4. В травяно-кустарничковом ярусе присутствуют как лесные, так и болотные виды. Встречаются рудеральные виды, типичные для данной территории, с общим участием до 20-25%.

2. 63-й км автодороги на г. Радужный (правая сторона, поворот на Ершовское месторождение). Район со значительной антропогенной нагрузкой. Здесь находятся крупные промышленные объекты – Белозерный ГПЗ, Белозерный центральный товарный парк, цех № 4 ООО «Нижневартовское нефтеперерабатывающее объединение». Тип растительности – смешанный лес с преобладанием хвойных пород деревьев с примесью березы и осины. Встречается пихтовый стланик. Местность холмистая, хорошо дренированная. Сформированы почвы криометаморфического отдела, на повышенных участках, где имеется дренаж, сформированы светлоселы, на склоновых участках – органо-криометаморфические почвы [6].

3. Куст-1852 Самотлорского лицензионного участка, расположен в долинной части р. Обь на первой и второй надпойменных террасах, сложенных озерно-аллювиальных отложениях. Тип растительности – смешанный лес с преобладанием хвойных пород деревьев с примесью березы и осины. Много деревьев с механическими повреждениями. Местность равнинно-возвышенного характера, сплошь заболочена и покрыта слабовыпуклыми торфяниками средней мощности в центральной части более 2 м. Торфяники маскируют первичный рельеф поверхности, и лишь кое-где можно выделить остаточные формы – пологие бугры и их комплексы [7], где сформированы подзолы иллювиально-железистые. На поверхности террасы много озер, образовавшихся за счет саморазвития торфяников. Антропогенным нарушением является нефтяной разлив, а также на территории проходят ЛЭП и нефтегазопровод. Недалеко от опытной площадки находится факел.

#### **Материал и методы исследований**

Сбор материала проводился в летний период 2015 г. В качестве объекта исследования была выбрана сосна обыкновенная,

25-30-летнего возраста. С каждой площадки собирали хвою сосны первого, второго и третьего годов из средней части кроны с южной экспозиции. Для изготовления срезов образцы хвои по пять хвоинок трёх возрастов (15 хвоинок) фиксировались в 70%-ном растворе этилового спирта для удаления смолы, затрудняющей работу. Анатомические срезы толщиной 20 мкм делали в средней части хвои перпендикулярно большой его оси на охладителе микротомы «ОМТ-01.00.000РЭ» (Россия), смонтированном на базе санного микротомы с замораживающим [8]. Анатомическое исследование поперечных срезов хвои сосны проводили с использованием цифрового оптического микроскопа Nirox KH-7700 (Япония) с программным обеспечением, при следующих условиях: Lens MX (G) – 10С; OL –140 II; Normal: x140. Измерялись следующие признаки хвои (мкм): радиальный размер клеток: эпидермы и гиподермы, длина хвои (мм), ширина хвои, толщина хвои, ширина мезофилла, число и диаметр смоляных ходов, а также число смоляных ходов (шт.), соотношение длины хвои к ее ширине, ширины мезофилла к толщине хвои, клеток флоэмы и ксилемы в радиальном ряду.

Проанализировали более 200 образцов, взятых с 25 деревьев, произрастающих в различных условиях антропогенного загрязнения. Материал обрабатывали статистически по методике Г.Ф. Лакина [9]. Рассчитывались среднее значение признака (x) и ошибка среднего значения (Sx).

### Результаты и обсуждение

Результаты исследований временных препаратов срезов хвои сосны обыкновенной приведены в таблице. В контроле у сосны

хвоя длиннее, а в опыте, напротив, короче. В среднем длина хвои второго года жизни на 10%, а третьего – на 20% больше, чем первого. Примерно такое же соотношение наблюдается при сравнении их ширины и толщины. В контрольном варианте эти параметры были значительно выше: 799,7-1557,1 мкм, чем в опытных, и составляли: 729,1-1505,7; 628,1-1356,4 мкм; 607,7-1456,7 мкм.

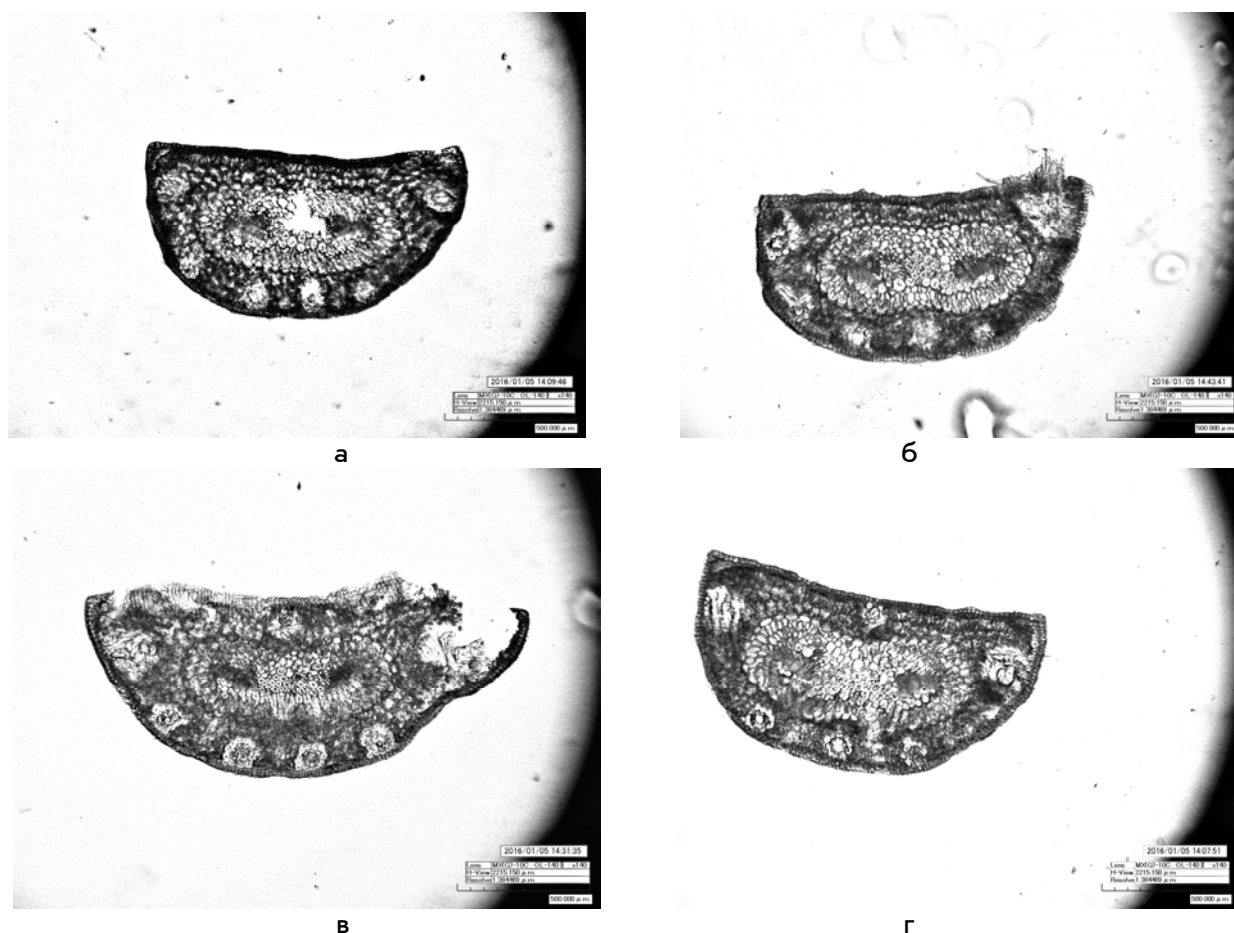
Важную роль в защите растений от антропогенных загрязнений играют покровные ткани. Из данных таблицы наблюдается варьирование размеров защитных клеток в зависимости от возраста и условий произрастания: эпидермы и гиподермы. Толщина слоя эпидермы с кутикулой превышает толщину гиподермы. Средние значения показателей внешних слоёв эпидермы и гиподермы составили 18,8-10,3 мкм – в районе Церковной гривы (КП), 24,4-14,4 мкм – в районе Комсомольского озера (ОП1), 20,0-13,8 мкм – на территории Белозерного ГПЗ (ОП2), 25,9-13,8 – в районе Самотлорского лицензионного участка, «Куст-1852» (ОП3). Таким образом, вариабельность изученных показателей на исследованных площадках варьировала от 18,8-10,3 до 25,9-13,8 мкм. Наибольшая степень изменчивости наблюдалось на нефтезагрязненном участке. Также изменялась ширина мезофилла. В условиях антропогенного загрязнения она росла, особенно на участке нефтяным розливом. Среднее значение в контрольном варианте составляла 160,7 мкм, а в опытных – 178,6-185,4-204,2 мкм соответственно. Изменения вышеуказанных параметров на опытных участках связываем с дефицитом воды и повышением температуры воздушной среды [10].

Таблица

**Анатомические показатели строения разновозрастной хвои сосны обыкновенной в условиях Нижневартковского района**

Показатель	КП			ОП 1			ОП 2			ОП3		
	хвоя 1 г.	хвоя 2 г.	хвоя 3 г.	хвоя 1 г.	хвоя 2 г.	хвоя 3 г.	хвоя 1 г.	хвоя 2 г.	хвоя 3 г.	хвоя 1 г.	хвоя 2 г.	хвоя 3 г.
Длина хвои, мм	45,67 ±0,24	58,83 ±0,15	69,67 ±0,36	42,43 ±0,48	52,01 ±0,27	58,50 ±0,43	38,00 ±0,38	45,00 ±0,11	53,17 ±0,21	22,17 ±0,14	47,33 ±0,27	56,80 ±0,14
Радиальный размер клеток, мкм												
эпидермы	15,23 ±1,12	19,07 ±0,99	22,20 ±0,86	19,38 ±1,10	22,18 ±1,19	31,84 ±1,23	16,61 ±1,02	15,23 ±0,93	28,25 ±1,31	19,43 ±2,02	27,69 ±1,04	30,51 ±1,56
гиподермы	9,69 ±0,71	10,28 ±0,38	11,12 ±0,30	11,16 ±0,59	14,15 ±0,97	17,99 ±0,03	12,54 ±0,48	13,91 ±0,26	14,44 ±1,37	12,23 ±1,25	13,56 ±1,40	15,71 ±0,76
Толщина хвои, мкм	725,02± 9,02	833,75 ±9,71	840,37± 7,12	719,14± 5,29	724,13± 6,56	743,93± 4,87	585,04± 7,22	628,99± 6,02	670,17± 7,46	514,62± 6,72	633,33± 0,03	675,20± 11,37
Ширина хвои, мкм	1509,77 ±17,78	1492,12 ±12,01	1669,67 ±19,02	1388,09 ±7,51	1522,76 ±9,30	1606,33 ±12,12	1204,69 ±11,32	1356,83 ±12,44	1507,70 ±17,97	1315,32 ±9,02	1485,06 ±9,02	1569,67 ±12,06
Ширина мезофилла, мкм	131,55± 7,15	168,91± 10,01	181,50± 7,10	145,38± 7,02	189,69± 5,03	200,73± 6,70	164,80± 7,14	176,20± 10,1	215,09± 6,14	152,30± 9,34	197,84± 7,08	262,53± 5,08
Диаметр смоляных ходов на поперечном срезе, мкм	35,30 ±1,71	48,79 ±2,80	53,65 ±1,02	40,21 ±1,23	59,15 ±1,32	71,57 ±1,81	41,82 ±1,67	51,20 ±1,24	62,12 ±2,02	42,90 ±2,93	60,09 ±2,33	71,27 ±2,81
Соотношение: длины хвои к ее ширине	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
ширины мезофилла к толщине хвои	0,28	0,28	0,27	0,20	0,25	0,25	0,23	0,31	0,18	0,18	0,27	0,25
клеток флоэмы и ксилемы в радиальном ряду	1,09	1,12	1,05	0,89	0,98	1,15	1,26	0,93	1,05	0,96	0,77	1,25

Примечание. Ув.: Normal: x140; КП – контрольная площадка; ОП1, ОП2, ОП3 – опытные площадки.



**Рис. Микрофотографии поперечного среза ассимиляционного аппарата *Pinus sylvestris* (L.): а – условный контроль; б, в, г – опытные площадки**

Наши данные согласуются с результатами аналогичных исследований других авторов [11-13], указывающих на увеличение толщины кутикулы, площади мезофилла и центрального цилиндра, площади поверхности хвои и длина хвои у сосны в техногенных условиях. Данный эффект отмечен в работе Л.А. Барахтеновой [14]., где на примере сосны показано, что хвоя с плотным расположением клеток мезофилла, толстой кутикулой и хорошо развитой палисадной паренхимой имеет большую устойчивость к газовому загрязнению.

Значительных различий по суммарному количеству смоляных ходов нет. На всех изученных площадках их число в среднем составляло 6-7 шт. (рис.). Выявлено достоверное увеличение их диаметра в условиях города и нефтяного загрязнения. В контроле данные показатели составили 45,9 мкм в среднем, в условиях города – 57,0 и 51,7-58,1 мкм в условиях интенсивного антропогенного загрязнения и нефтяного разлива.

#### **Заключение**

В результате проведенных исследований выявлены значительные изменения анатоми-

ческих особенностей хвои сосны обыкновенной в условиях антропогенного воздействия (город, нефтяной разлив, вблизи федеральной дороги). Происходило увеличение толщины и ширины хвои, мезофилла, диаметра смоляных ходов. Отмечены разрастание флоэмных элементов и сокращение ксилемных.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают высокую лабильность анатомических особенностей хвои сосны обыкновенной в условиях антропогенного воздействия.

#### **Библиографический список**

1. Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И. Характеристика растительности Кечимовского месторождения // Бюллетень науки и практики. – 2015. – № 1. – С. 54-65.
2. Иозус А.П., Морозова Е.В. Морфологические и анатомические особенности хвои сосны обыкновенной разного географического происхождения в географических культурах Волгоградской области // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20526> (дата обращения: 12.03.2016).

3. Неверова О.А., Легощина О.М., Зокиров Р.С. Изменение анатомических показателей хвои *Pinus eldarica* Ten., произрастающей в примагистральных посадках г. Худжанда // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – 274 с.

4. Boratynska K., Jasinska A., Ciepluch E. Effect of tree age on needle morphology and anatomy of *Pinus uliginosa* and *Pinus silvestris* – species-specific character separation during ontogenesis // *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. – 2008. – Vol. 203. – P. 617-626.

5. Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И. Морфологические изменения сосны обыкновенной на территории Нижневартковского района // Вестник Нижневартковского гос. гуманитар. ун-та. – Нижневартовск: Изд-во Нижневартковского гос. ун-та, 2013. – С. 75-84.

6. Коркина Е.А. Самовосстановление нарушенных техногенезом почв Среднего Приобья: монография / отв. ред. Г.Н. Гребенюк. – Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2015. – 158 с.

7. Васильев С.В. Лесные и болотные ландшафты Западной Сибири. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – 276 с.

8. Руководство по эксплуатации ОМТ-01.00.000РЭ (ТУ 9443-001-322853843-99). – Екатеринбург, 1999. – 12 с.

9. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

10. Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И. Влияние антропогенных факторов на содержание пигментов сосны обыкновенной в летне-зимний период на территории Нижневартковского района // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. – № 6. – С. 236-241.

11. Егорова Н.Н., Кулагин А.А. Особенности строения ассимиляционных органов лесобразующих видов в техногенных условиях // Самарская Лука. – 2007. – Т. 16. – № 3 (21). – С. 463-476.

12. Иванова Н.А., Корчагина Л.Е. Механизмы адаптации растений к нефтяному загрязнению почв // Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий: тез. докладов Всероссийской научной конференции с международным участием и школы для молодых ученых (21-26 сентября 2015 г.). – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – С. 221-222.

13. Цандекова О.Л. Анатомо-морфологические особенности хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях Кедровского угольного разреза // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 326-331.

14. Барахтенова Л.А. Диагностика устойчивости сосновых лесов при техногенном загрязнении // Сибирский биологический журнал. Изв. СО АН СССР. 1991. – Вып. 6. – 4.2. – С. 46-55.

#### References

1. Ovechkina E.S., Shayakhmetova R.I. Kharakteristika rastitel'nosti Kechimovskogo mestorozhdeniya // *Byulleten' nauki i praktiki*. – 2015. – № 1. – S. 54-65.

2. Iozus A.P., Morozova E.V. Morfologicheskie i anatomicheskie osobennosti khvoi sosny obyknovЕННОI raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v geograficheskikh kul'turakh Volgogradskoi oblasti // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. – № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20526> (data obrashcheniya: 12.03.2016).

3. Neverova O.A., Legoshchina O.M., Zokirov R.S. Izmenenie anatomicheskikh pokazatelei khvoi *Pinus eldarica* Ten., proizrastayushchei v primagistral'nykh posadkakh g. Khudzhandu // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2012. – № 4 – 274 s.

4. Boratynska K., Jasinska A., Ciepluch E. Effect of tree age on needle morphology and anatomy of *Pinus uliginosa* and *Pinus silvestris* – species-specific character separation during ontogenesis // *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2008. – Vol. 203. – P. 617-626.

5. Ovechkina E.S., Shayakhmetova R.I. Morfologicheskie izmeneniya sosny obyknovЕННОI na territorii Nizhnevartovskogo raiona // *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta*. – Nizhnevartovsk: Izd-vo Nizhnevart. gosudarstv. un-ta, 2013. – S. 75-84.

6. Korkina E.A. Samovosstanovlenie narushennykh tekhnogenezom pochv Srednego Priob'ya: monografiya / отв. ред. G.N. Grebenyuk. – Nizhnevartovsk: Izd-vo NVGU, 2015. – 158 s.

7. Vasil'ev S.V. Lesnye i bolotnye landshafty Zapadnoi Sibiri. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2007. – 276 s.

8. *Rukovodstvo po ekspluatatsii OMT-01.00.000RE (TU 9443-001-322853843-99)*. – Ekaterinburg, 1999. – 12 s.
9. Lakin G.F. *Biometriya*. – M.: Vysshaya shkola, 1990. – 352 s.
10. Ovechkina E.S., Shayakhmetova R.I. *Vliyanie antropogennykh faktorov na sodержanie pigmentov sosny obyknovЕННОi v letnezimnii period na territorii Nizhnevartovskogo raiona // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2015. – T. 17. – № 6. – S. 236-241.
11. Egorova N.N., Kulagin A.A. *Osobennosti stroeniya assimilyatsionnykh organov lesoobrazuyushchikh vidov v tekhnogennykh usloviyakh // Samarskaya Luka*. – 2007. – T. 16. – № 3 (21). – S. 463-476.
12. Ivanova N.A., Korchagina L.E. *Mekhanizmy adaptatsii rastenii k neftyanomu zagryazneniyu pochv // Rasteniya v usloviyakh global'nykh i lokal'nykh prirodno-klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistvii: Tezisy dokladov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem i shkoly dlya molodykh uchenykh (21-26 sentyabrya 2015 g)*. – Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2015. – S. 221-222.
13. Tsandekova O.L. *Anatomo-morfologicheskie osobennosti khvoi Pinus sylvestris L. v usloviyakh Kedrovskogo ugol'nogo razreza // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2013. – № 3. – S. 326-331.
14. Barakhtenova L.A. *Diagnostika ustoychivosti sosnovykh lesov pri tekhnogennom zagryaznenii // Sibirskii biologicheskii zhurnal. Izv. SO AN SSSR*. – 1991. – Вып. 6. – 4.2. – S. 46-55.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 2148).*

