

2. *Gommes R., Kaitakire F.* The challenges off index – based insurance for food security. European Commission. – URL: <http://www.fao.org/gIEWS/eartobservation>.
3. *Pontailier J., Hymus G.J., Drake B.G.* Estimation of leaf area index using ground – based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. Canadian Journal of Remote Sensing. Vol. 29, no. 3, pp. 381–387, 2003.
4. *Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N., Pattey E., Vigneault P.* Estimation of leaf area index using ground spectral measurements over agriculture crops^ prediction capability assessment of optical indices. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.432.7669&rep=rep1&type=pdf>.
5. *Алиева С.С.* Разработка универсального комбинированного индекса засухи влажности почвы // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 8. – С. 136–141.
2. *Gommes R., Kaitakire F.* The challenges off index – based insurance for food security. European Commission. – URL: <http://www.fao.org/gIEWS/eartobservation>.
3. *Pontailier J., Hymus G.J., Drake B.G.* Estimation of leaf area index using ground – based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. Canadian Journal of Remote Sensing. Vol. 29, no. 3, pp. 381–387, 2003.
4. *Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N., Pattey E., Vigneault P.* Estimation of leaf area index using ground spectral measurements over agriculture crops^ prediction capability assessment of optical indices. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.432.7669&rep=rep1&type=pdf>.
5. *Алиева С.С.* Razrabotka universal'nogo kombinirovannogo indeksa zasuhi vlazhnosti pochvy // Vestn. KrasGAU. – 2017. – № 8. – С. 136–141.

Literatura

1. *Rojas O.* Protocol for Country – Level ASIS. Calibration and national adaptation process.



УДК 502(574.12)

*С.В. Соболева, И.С. Почекутов,
Л.И. Ченцова*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

S.V. Soboleva, I.S. Pochekutov, L.I. Chentsova

THE STUDY OF MORPHOLOGIC AND PHYSIOLOGIC INDICATORS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. PLANTINGS IN DIFFERENT ECOLOGICAL CONDITIONS

Соболева С.В. – канд. техн. наук, доц. каф. промышленной экологии, процессов и аппаратов химических производств Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru

Soboleva S.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Industrial Ecology, Processes and Devices of Chemical Production, M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies, Krasnoyarsk. E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru

Почекутов И.С. – канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии древесины и биотехнологии Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: ivan-lesohimik@yandex.ru

Ченцова Л.И. – канд. хим. наук, доц. каф. технологии, оборудования бродильных и пищевых производств Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru

Pochekutov I.S. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Chemical Technology of Timber and Biotechnology, M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies, Krasnoyarsk. E-mail: ivan-lesohimik@yandex.ru

Chentsova L.I. – Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technology, Equipment of Fermentative and Food Productions, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru

Целью исследования является оценка прироста сосны обыкновенной в зависимости от места произрастания и изучение возможности ее использования для оценки загрязненности атмосферы. Хвойные породы – ель сибирская и сосна обыкновенная показывают наибольшую газопоглотительную способность из хвойных. Морфофизиологические показатели древостоев позволяют комплексно подойти к решению проблемы оценки их состояния и загрязнения атмосферы в районе произрастания. В исследовании были использованы биоиндикационные методы, рассчитан обобщенный показатель для сосны обыкновенной на основе трех показателей – объема, массы и средней длины хвои для различных районов Красноярского края. Контрольными объектами при проведении исследований служили молодые здоровые сосновые насаждения (20–40 лет) с индексами жизненного состояния показателей не менее 85. По стандартным методикам находили влажность и содержание в хвое минеральных веществ. Основной причиной увеличения содержания минеральной фракции ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной является пыль, поднимаемая автотранспортом и оседающая на хвое древостоев. Это можно проследить, исследуя зольность образцов хвои, %: г. Красноярск – 1,49; с. Казачинское – 1,47; с. Момотово – 1,42. Плотность хвои, г/мм³, возрастает с уменьшением загрязненности воздуха: г. Красноярск – 1,07±0,01; с. Казачинское – 1,1±0,02; с. Момотово – 1,2±0,03. При загрязнении атмосферы снижается не только скорость метаболизма, но и нарушается водный режим и происходит потеря влаги ассимиляционным аппаратом, что приводит к деструкции мембран клеток. Ассимиляционный аппарат хвойных в первую

очередь реагирует на ухудшение качества атмосферы, в результате чего происходит уменьшение или увеличение плотности, объема и прироста хвои в зависимости от антропогенной нагрузки. Данные исследования будут полезны для оценки загрязнения атмосферного воздуха по регионам и зонирования территорий.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, сосна обыкновенная, биоиндикация, регион произрастания.

The research objective is the assessment of *Pinus sylvestris* growth depending on the place of growth and studying the possibility of its use for the assessment of impurity of the atmosphere. Coniferous species, i.e. Siberian fir-tree and *Pinus sylvestris* among the coniferous show the greatest gas-absorbing ability. Morphological and physiological indicators of forest stands allow approaching in complex the solution of the problem of the assessment of their state and pollution of the atmosphere around the growth. In the research bioindicator methods were used, generalized indicator for *Pinus sylvestris* on the basis of three indicators, i.e. the volume, weight and average length of needles for various regions of Krasnoyarsk Region was calculated. As control objects when carrying out the researches young healthy pine plantings (20–40 years of age) with indexes of vital condition of indicators not less than 85 served. By standard techniques the humidity and the contents of mineral substances in needles were found. It was found out that the dust discharged by motor transport which was settling on the needles of forest stands was the main reason for the increase in the maintenance of mineral fraction of assimilatory device of *Pinus sylvestris*. It can be tracked, investigating ash content of samples of needles in per cent: Krasnoyarsk

– 1.49; the village of Kazachinskoye – 1.47; the village of Momotovo – 1.42. It was found out that the density of needles, g/mm^3 and increases with the reduction of impurity of air: Krasnoyarsk – $1.07+0.01$; the village of Kazachinskoye – $1.1+0.02$; the village of Momotovo – $1.2+0.03$. At pollution of the atmosphere not only the speed of metabolism decreases, but also the water mode is broken and there is moisture loss by the assimilatory device leading to the destruction of cell's membranes. It has been found out that assimilatory apparatus of conifers reacted in the first place to deteriorating quality of the atmosphere, resulting in the decrease or increase of density, volume and growth of the needles depending on the anthropogenic load. These researches will be useful for the assessment of pollution of atmospheric air on regions and zonings of territories.

Keywords: atmospheric pollution, *Pinus sylvestris*, bioindication, the region of growth.

Введение. В настоящее время экологи и лесники обладают значительным арсеналом для способов оценки состояния древостоев, произрастающих вблизи крупных промышленных объектов и мегаполисов. Каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки. В настоящее время предпочтение отдается химическим и инструментальным методам измерения, в основе которых заложены прямые и косвенные измерения. Однако биологические и визуальные методы оценки древостоев не уступают им по достоверности и скорости проведения. В то же время эти методы имеют одно немаловажное преимущество – относительная дешевизна проведения работ. Одним из таких методов является биоиндикационный метод исследования. С его помощью можно исследовать довольно-таки большие объемы лесных массивов в течение длительного времени. Использование в качестве биоиндикатора экологического состояния атмосферы сосны обыкновенной обусловлено ее повсеместным распространением на территории нашей страны и высокой чувствительностью к загрязнителям [1].

Хвойные породы – ель сибирская (*Picea obovata*) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) показывают наибольшую газопоглотительную способность из хвойных [2]. При сравнении исследуемых хвойных пород О.А. Неверова и

А.А. Быков установили, что сосна в условиях городской среды обладает большей поглотительной способностью по серосодержащим выбросам, чем ель: содержание серы в ней составляет 27–72 % против 16–37 % у ели [3].

Морфофизиологические показатели древостоев позволяют комплексно подойти к решению проблемы оценки их состояния и определить загрязнение атмосферы в районе произрастания. Коллективом авторов С.В. Соболевой, И.С. Почекутовым, Л.И. Ченцовой были исследованы массивы пихты сибирской пригородной зоны г. Красноярска на предмет накопления тяжелых металлов в древесной зелени и коре. Было выяснено, что в большей степени на накопление тяжелых металлов влияет место произрастания и в меньшей степени – сезонная динамика [4]. Аналогичные исследования проводились в разных регионах страны, в частности на Урале, в Западной Сибири, Республике Бурятия [5–7].

Цель исследования: оценка прироста сосны обыкновенной в зависимости от места произрастания и изучение возможности использования ее для оценки загрязненности атмосферы.

Объекты и методы исследования. Рассчитывали обобщенный показатель ($ОПС_{морф}$) для сосны обыкновенной на основе трех показателей – объема, массы и средней длины хвои для различных регионов произрастания: район с. Казачинское, г. Красноярска и с. Момотово Казачинского р-на Красноярского края. Если показатель имеет значение 25 баллов и ниже, то состояние оценивается как очень плохое, 36–45 – удовлетворительное и свыше 45 – хорошее [8]. Контрольными объектами при проведении исследования служили молодые здоровые сосновые насаждения (20–40 лет) с индексами жизненного состояния показателей не менее 85 [9].

Для наблюдения было взято 3 пробных площади в чистом, загрязненном и фоновом районах. Исследование проводилось по специальной шкале – шкала категорий состояния деревьев [10]. Отобранные образцы (с 7–8 деревьев) доставляли в лабораторию, где они аккуратно разделялись на хвою и стволы соответствующих годов жизни. Хвою отдельных деревьев каждого региона объединяли по годам жизни, перемешивали и из каждой пробы для обеспечения достоверности результатов трижды отбирали по 50 образцов. На подложке их взвешивали с точ-

ностью до четвертого знака. Объем хвои находили волюмометрическим методом. При проведении опытов анализировали хвою второго года жизни среднего яруса деревьев. Длина, масса и объем хвои рассчитывались как частное при делении результатов измерения известного числа хвои на их количество. Плотность хвои представляет частное при делении массы на объем. Для определения средней длины хвои данные подвергали статистической обработке. По стандартным методикам находили влажность и содержание в хвое минеральных веществ. Пробы хвои анализировались на влажность и зольность по общепринятым методикам [11]. Золу исследовали на наличие тяжелых металлов спектрометрическим методом на приборе «Спектроскан». По интенсивностям аналитических линий и сравнению их с образцом определяли концентрацию тяжелых металлов в пробе [12].

Результаты исследования и их обсуждение. Основная задача исследования заключалась в изучении влияния широтного произрастания сосняков на биоиндикационную оценку загрязнения воздушной среды. При решении задачи были выбраны сравнительно близко расположенные (около 200 км) населенные пункты с относительно подобными природно-климатическими характеристиками, но разным экологическим состоянием – г. Красноярск и Казачинский район. Они находятся на одной широте и расположены в лесостепной зоне, однако

на их атмосферу действуют разные по интенсивности загрязнения. В Казачинском районе отсутствует железнодорожная магистраль и через него не проходят мощные автомагистрали. Существенно отличаются по компонентному составу и загрязнению сравниваемых объектов. Определяющими загрязнителями Красноярска являются бенз(а)пирен, формальдегид, оксид серы, оксиды азота и пыль; в Казачинском районе загрязнителями являются взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота [13]. К тому же запыленность в Красноярске намного выше, чем в Казачинском районе. Сосняки широко распространены на обеих территориях. С учетом этого объектами исследования служили площадки молодняков сосны в довольно крупных городских и районных массивах со сравнительно чистой атмосферой, загрязненным и фоновым участками. Сравнение полученных данных позволит разрешить вопрос о влиянии широтного расположения территории (места произрастания) на биоиндикационную оценку воздушной среды. При проведении экспериментальных исследований преимущественно изучалось состояние древостоев в фоновых массивах – в окрестностях г. Красноярска и с. Момотово. Вспомогательными служили объекты на окраине районного центра с. Казачинского района Академгородка г. Красноярска. Структура насаждений по их состоянию представлена в таблице 1.

Таблица 1

Структура насаждений по их состоянию, % на начало 2017 г.

Место произрастания	Здоровые	Ослабленные	Поврежденные	Отмирающие
г. Красноярск	45	28	21	9
с. Казачинское	87	7	4	2
с. Момотово (фоновое)	91	5	3	1

Относительно изменения биоиндикационных показателей в связи с аэрогенным загрязнением нет единого мнения. Данные, полученные Т.А. Сухаревой и Н.В. Лукиной, свидетельствуют о повышении биомассы хвои ели при ее старении вне зависимости от интенсивности загряз-

нения воздушной среды [14]. Другие уверены, что при ухудшении условий произрастания уменьшается и масса, и длина хвои [15]. Результаты исследования по изменению длины и массы хвои в зависимости от места произрастания приведена в таблице 2.

Таблица 2

Длина, масса и объем хвои в зависимости от места произрастания

Место произрастания	Длина хвои первого и второго года жизни, мм		Масса хвои первого и второго года жизни, мг		Объем хвои усредненный, мм ³	Категория загрязнения
	1	2	1	2		
г. Красноярск	56,5 _{+0,2}	59,6 _{+0,5}	31,0 _{+0,03}	32,0 _{+0,2}	29,9 _{+0,1}	Сильное
с. Казачинское	55,9 _{+0,5}	60,1 _{+0,2}	43,8 _{+0,01}	44,0 _{+0,4}	40,0 _{+0,3}	Среднее
с. Момотово	60,0 _{+0,4}	61,2 _{+0,1}	44,1 _{+0,3}	45,0 _{+0,3}	40,9 _{+0,1}	Фоновое

Приведенные в таблице 2 данные свидетельствуют о том, что масса и длина хвои возрастают со снижением загрязнения атмосферы. Для определения объема хвои использовали волюмометрический метод, эти данные хорошо согласуются с расчетными [16]. Согласно полученным данным, выяснили, что при увеличении загрязнения атмосферы наблюдается тенденция к уменьшению объема хвои. В результате проведенных исследований выявили, что индикация по плотности хвои напрямую связана с условиями произрастания, в том числе с загряз-

ненностью атмосферы. Плотность хвои, г/мм³, возрастает с уменьшением загрязненности воздуха (г. Красноярск – 1,07±0,01; с. Казачинское – 1,1±0,02; с. Момотово – 1,2±0,03). При интенсивном загрязнении атмосферы снижается не только скорость метаболизма, но и нарушается водный режим и происходит потеря влаги ассимиляционным аппаратом. Известно, что при этом происходит деструкция мембран клеток. Данные исследования по изменению влажности хвои в зависимости от места произрастания представлены в таблице 3.

Таблица 3

Влажность хвои сосны разных мест произрастания

Место произрастания	Влажность, %
г. Красноярск	49,85 _{+0,51}
с. Казачинское	49,66 _{+0,25}
с. Момотово (фоновое)	52,35 _{+0,30}

При сравнении данных, представленных в таблице 3, видно, что влажность убывает от фоновых участков к загрязненным. Общеизвестно, что минеральные вещества участвуют почти во всех обменных процессах организма, поэтому изменение элементного состава влияет на рост и развитие растений и отражается сильнее всего на состоянии ассимиляционного аппарата (происходит деградация и усыхание побегов, некроз хвои), по-видимому, это связано с

загрязнением атмосферы автотранспортом [17]. Основной причиной увеличения содержания минеральной фракции в ассимиляционном аппарате является пыль, поднимаемая автотранспортом и оседающая на хвое древостоев. Это можно проследить, исследуя зольность образцов хвои, %: г. Красноярск – 1,49; с. Казачинское – 1,47; с. Момотово (фоновое) – 1,42. Химический состав золы представлен в таблице 4.

Таблица 4

Химический состав золы хвои сосны обыкновенной, мг/кг хвои

Химический элемент	Место исследования		
	г. Красноярск	с. Казачинское	с. Момотово (фоновое)
Железо	28,7 _{+0,20}	119,2 _{+0,5}	11,3 _{+0,05}
Цинк	13,7 _{+0,10}	21,2 _{+0,09}	19,8 _{+0,03}
Медь	10,2 _{+0,09}	12,3 _{+0,02}	7,1 _{+0,60}
Марганец	1,2 _{+0,02}	9,6 _{+0,15}	4,4 _{+0,23}
Никель	Следы	Следы	2,0 _{+0,02}

Опираясь на данные таблицы 4, можно сделать вывод об увеличении содержания тяжелых металлов в хвое сосны обыкновенной при увеличении запыленности атмосферного воздуха и антропогенной нагрузке на экосистему. Ассимиляционный аппарат хвойных в первую очередь реагирует на ухудшение качества атмосферы, в результате чего происходит уменьшение или увеличение плотности, объема и прироста хвои в зависимости от антропогенной нагрузки.

Выводы. Согласно полученным данным, выяснили, что морфофизиологические показатели древостоев позволяют комплексно подойти к решению проблемы оценки их состояния и определить загрязнение атмосферы в районе произрастания.

Эти данные могут быть использованы для оценки загрязнения атмосферного воздуха по регионам и зонирования территорий.

Литература

1. Степень Р.А., Есякова О.А., Соболева С.В. Оценка загрязнения атмосферы биоиндикационными методами. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2013. – 142 с.
2. Родин А.Р., Калашникова Е.А., Родин С.А. Лесные культуры: учебник. – М.: Изд-во МГУЛ, 2011. – 316 с.
3. Пат. 2213361 Российская Федерация G01W1/00, G01N33/00. Способ определения степени загрязнения атмосферы серо-содержащими соединениями городских и прилегающих к ним территорий методом фитоиндикации / Неверова О.А., Быков А.А.; заявитель и патентообладатель Кемеровский научный центр СО РАН, Неверова О.А., Быков А.А. – № 2002100332/13; заявл. 03.01.2002; опубл. 27.09.2003.
4. Соболева С.В. Ченцова Л.И., Почекутов И.С. Исследование накопления тяжелых металлов в древесной зелени и коре пихты сибирской // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 8. – С. 118–121.
5. Фомин В.В. Морфофизиологическая и автоматизированная оценка состояния сосновых древостоев в зоне действия атмосферных промышленных загрязнений // Лесной вестник. – 2007. – № 8. – С. 80–85.
6. Бережная Н.С. Мониторинг атмосферного загрязнения лесов юго-западной части Байкальского региона // Современные проблемы байкаловедения. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2001. – С. 9–18.
7. Неверова О.А. Эколого-физиологическая оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях антропогенного загрязнения г. Кемерово // Сибирский экологический журнал. – 2002. – Т. 10, № 6. – С. 773–779.
8. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
9. Неверова О.А., Николаевский В.С. Оценка устойчивости древесных насаждений по степени нарушения ассимиляционного аппарата и крон деревьев // Лесное хозяйство. – 2003. – № 6. – С. 31–32.
10. Феклистов П.А., Тутьгин Г.С., Дрожжин Д.П. Состояние сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 132 с.
11. Рязанова Т.В., Чупрова Н.А., Исаева Е.В. Химия древесины. – Красноярск: Изд-во КГТА, 1996. – 358 с.
12. Методика выполнения измерений массовой концентрации тяжелых металлов в биологических объектах на рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан». – СПб.: Изд-во ВНИИФТРИ, 1994. – 102 с.
13. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2016 год: государственный доклад Министерства природных ресурсов и экологии Красноярского края. – Красноярск, 2017. – 289 с. – URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849/0/id/26439>.
14. Сухарева Т.А., Лукина Н.В. Химический состав и морфометрические характеристики хвои ели сибирской на Кольском полуострове в процессе деградационной сукцессии лесов // Лесоведение. – 2004. – № 2. – С. 36–43.
15. Соколов Д.Е., Шаланки Я., Криволицкий Д.А. Международная программа по биоиндикации антропогенного загрязнения природной среды // Экология. – 1990. – № 2. – С. 90–94.

16. Есякова О.А., Степень Р.А. Разработка волюмометрического метода измерения объема хвои при биоиндикации загрязнения атмосферного воздуха // Лесной вестник. – 2015. – № 2. – С. 11–14.
17. Постхумус А.С. Мониторинг состояния и воздействия загрязнения атмосферы // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 226.
8. Alekseev V.A. Diagnostika zhiznennogo sostojanija derev'ev i drevostoev // Lesovedenie. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
9. Neverova O.A., Nikolaevskij B.C. Ocenka ustojchivosti drevesnyh nasazhdenij po stepeni narushenija assimiljacionnogo apparata i kron derev'ev // Lesnoe hozjajstvo. – 2003. – № 6. – С. 31–32.

Literatura

1. Stepen' R.A., Esjakova O.A., Soboleva S.V. Ocenka zagryznenija atmosfery bioindikacionnymi metodami. – Krasnojarsk: Izd-vo SibGTU, 2013. – 142 s.
2. Rodin A.R., Kalashnikova E.A., Rodin S.A. Lesnye kul'tury: uchebnik. – M.: Izd-vo MGUL, 2011. – 316 s.
3. Pat. 2213361 Rossijskaja Federacija G01W1/00, G01N33/00. Sposob opredelenija stepeni zagryznenija atmosfery serosoderzhashhimi soedinenijami gorodskih i privilegajushhij k nim territorij metodom fitoindikacii / Neverova O.A., Bykov A.A.; zajavitel' i patentoobladatel' Kemerovskij nauchnyj centr SO RAN, Neverova O.A., Bykov A.A. – № 2002100332/13; zajavl. 03.01.2002; opubl. 27.09.2003.
4. Soboleva S.V. Chencova L.I., Počekutov I.S. Issledovanie nakoplenija tjazhelyh metallov v drevesnoj zeleni i kore pihty sibirskoj // Vestn. KrasGAU. – 2014. – № 8. – С. 118–121.
5. Fomin V.V. Morfofiziologičeskaja i avtomatizirovannaja ocenka sostojanija osnovnyh drevostoev v zone dejstvija atmosferyh promyšlennyh zagryznenij // Lesnoj vestnik. – 2007. – № 8. – С. 80–85.
6. Berezhnaja N.S. Monitoring atmosfernogo zagryznenija lesov jugo-zapadnoj časti Bajkal'skogo regiona // Sovremennye problemy bajkalovedenija. – Irkutsk: Izd-vo IGU, 2001. – С. 9–18.
7. Neverova O.A. Jekologo-fiziologičeskaja ocenka sostojanija assimiljacionnogo apparata sosny obyknovennoj v uslovijah antropogennoho zagryznenija g. Kemerovo // Sibirskij jekologičeskij zhurnal. – 2002. – Т. 10, № 6. – С. 773–779.
10. Feklistov P.A., Tutygin G.S., Drozhzhin D.P. Sostojanie osnovnyh drevostoev v uslovijah ajerrotehnogennoho zagryznenija atmosfery. – Arhangel'sk: Izd-vo AGTU, 2005. – 132 s.
11. Rjazanova T.V., Chuprova N.A., Isaeva E.V. Himija drevesiny. – Krasnojarsk: Izd-vo KGTA, 1996. – 358 s.
12. Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii tjazhelyh metallov v biologičeskijh ob'ektah na rentgeno-fluorescentnom spektrometre «Spektroskan». – SPb.: Izd-vo VNIIFTRI, 1994. – 102 s.
13. O sostojanii i ohrane okružhajushhej sredy v Krasnojarskom krae za 2016 god: gosudarstvennyj doklad Ministerstva prirodnyh resursov i jekologii Krasnojarskogo kraja. – Krasnojarsk, 2017. – 289 s. – URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849/0/id/26439>.
14. Suhareva T.A., Lukina N.V. Himičeskij sostav i morfometričeskije harakteristiki hvoi eli sibirskoj na Kol'skom poluostrove v processe degradacionnoj sukcesii lesov // Lesovedenie. – 2004. – № 2. – С. 36–43.
15. Sokolov D.E., Šalanki Ja., Krivoluckij D.A. Mezhdunarodnaja programma po bioindikacii antropogennoho zagryznenija prirodnoj sredy // Jekologija. – 1990. – № 2. – С. 90–94.
16. Esjakova O.A., Stepen' R.A. Razrabotka voljumometričeskogo metoda izmerenija ob'ema hvoi pri bioindikacii zagryznenija atmosfernogo vozduha // Lesnoj vestnik. – 2015. – № 2. – С. 11–14.
17. Posthumus A.S. Monitoring sostojanija i vozdejstvija zagryznenija atmosfery // Zagryznenie vozduha i žizn' rastenij. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – С. 226.