

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Tringa erythropus</i>	5	+	+	–	–	–	–	–
<i>Tringa totanus</i>	48	0,1	0,2	–	–	–	12	0,50
<i>Tringa stagnatilis</i>	3	+	+	–	–	–	–	–
<i>Tringa nebularia</i>	38	0,1	0,3	3	+	+	–	–
<i>Tringa ochropus</i>	6	+	+	1	+	+	7	0,29
<i>Tringa glareola</i>	140	0,2	0,4	1	+	+	–	–
<i>Xenus cinereus</i>	2	+	+	–	–	–	1	0,04
<i>Actitis hypoleucos</i>	12	+	+	–	–	–	9	0,38
<i>Larus ridibundus</i>	5510	21,7	69,7	5556	27,1	70,3	1300	54,51
<i>Larus canus</i>	504	2,5	8,3	777	3,8	12,8	20	0,84
<i>Larus fuskus</i>	3	+	0,1	1	+	+	–	–
<i>Larus argentatus/cachinnans</i>	333	6,6	14,9	1155	27,4	51,6	10	0,42
<i>Sterna caspia</i>	1	+	+	–	–	–	–	–
<i>Sterna hirundo</i>	304	0,7	1,7	–	–	–	140	5,87
<i>Sterna albifrons</i>	3	+	+	–	–	–	–	–
<i>Chlidonias hybridus</i>	99	0,2	0,4	–	–	–	25	1,05
<i>Chlidonias niger</i>	50	0,1	0,2	–	–	–	25	1,05
<i>Chlidonias leucopterus</i>	83	0,2	0,2	–	–	–	30	1,26
<i>Alcedo atthis</i>	3	+	+	1	+	+	1	0,04
Суммарное биомасса и кол-во особей	18756	261,8	594,2	19841	394,9	845,7	–	–

Примечание – вид не отмечался (–), биомасса вида менее 0,1 кг/км<sup>2</sup> (+).

Средняя биомасса группы изменяется от 208,9 кг/км<sup>2</sup> весной до 249,0 кг/км<sup>2</sup> осенью. Максимальной биомассы (557,6 кг/км<sup>2</sup>) водоплавающие достигают к концу сентября – началу октября за счет роста численности кряквы и чирка-свистунка. Птицы прибрежных зарослей представлены на рыбхозе 5 видами, 4 из которых гнездятся. Средняя биомасса группы осенью (78,2 кг/км<sup>2</sup>) возрастает по сравнению с весной в 6 раз.

Отметим, что, по данным Абрамовой [11], плотность летнего населения птиц рыбхоза «Локтыши» составляет 212,6 ос/км<sup>2</sup>, суммарная биомасса – 128,2 кг/км<sup>2</sup>. Всего было выявлено 42 вида водно-болотных птиц.

### Заклучение

Рыбхоз «Локтыши» является важным объектом для сохранения популяций водно-болотных видов птиц во время миграций и в гнездовой период. На рыбхозе отмечается ряд редких и охраняемых видов. Численность некоторых из них (серый гусь, большая белая цапля, лебедь-кликун, сизая чайка) достаточно высока и превышает 1% минимальной популяции РБ [8]. Почти половина (44%) гнездящихся на рыбхозе «Локтыши» видов представляют группу водоплавающих, 18% – ихтиофагов. В период весенней миграции доминируют фитофаги, 49% всей биомассы приходится на представителей данной группы. Осенью 44% всей биомассы приходится на ихтиофагов. В весенний период орнитофауна рыбхоза характеризуется наибольшим индексом видового разнообразия ( $H = 2,62$ ), выравненность сообщества равна  $Eh = 0,65$ , индекс доминирования равен 7,75 ( $D/1$ ), что значительно выше, чем во время гнездования и период осенней миграции. Наибольшее количество видов отмечается на рыбхозе во время весенней миграции. Видовой состав практически всех трофических и эколого-морфологических групп осенью сокращается. Биомасса и численность большинства видов выше в осенний период.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ranoszek, E. Weryfikacja metod oceny liczebności ptaków wodnych w warunkach stawów Milickich / E. Ranoszek // *Notatki ornitologiczne*, 1983. – № 24 – S. 177–201.
2. Kauppinen, J. Methods used in the census of breeding ducks in northern Savo (Finland) at the beginning of the breeding season. / J. Kauppinen // *Finnish Game Research*, 1983. – 40. – P. 49–81.
3. Dobrowolski, K.A. Structure of the occurrence of waterfowl types and morpho-ecological forms / K.A. Dobrowolski // *Ekol. Pol. A* 17. 1969. – P. 29–72.
4. Jakubiec, Z. Zróżnicowanie morfologiczno-ekologiczne ptaków wodno-blotnych / Z. Jakubiec // *Wiad. Ekol.* 1978. – № 24 – S. 99–107.
5. Dombrowski, A. Zgrupowania ptaków wodno-blotnych na stawach rybnych niziny Mazowieckiej w okresie polegowych koczowań / A. Dombrowski // *Kulon* 8 2003. 1 – S. 47–62.
6. Cramp, S. The birds of the Western Palearctic / S. Cramp // Oxford. London, New York, Oxford Univ. Press. – 1985. – Vol. 1–7.
7. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992. – 184 с.
8. Красная книга Республики Беларусь. Животные / редкол. Л.И. Хоружик [и др.]. – Мн.: Бел. энциклопедия, 2004. – 320 с.
9. BirdLife International (2004) Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. Cambridge, UK: BirdLife International. (BirdLife Conservation Series №12).
10. Гайдук, В.Е. Экология птиц юго-запада Беларуси. Неворобьинообразные : монография / В.Е. Гайдук, И.В. Абрамова. – Брест : БрГУ, 2009. – С. 28–30.
11. Абрамова, И.В. Структура и динамика населения птиц экосистем юго-запада Беларуси / И.В. Абрамова. – Брест : Изд-во БрГУ, 2007 – 208 с.

***S.V. Abramchuk*, *V.E. Gaiduc*. Structure and Dynamics of Bird Population of «Laktyśy» Fish Farm**

«Laktyśy» is the second largest fish farm in Belarus in area extent. Ornithofauna studies were conducted there in 2003, 2008 and 2009. A total number of 66336 birds of 64 water wader species (non Passeriformes) have been registered at the fish farm during that period. Around a half of them are listed in National Red-data book (3rd edition), 26 have European protection status (SPEC). 39 species are breeding ones, 64 species were registered during spring and 44 – during autumn migration. Water wader communities in spring are of high diversity ( $H=2,62$ ) and are well aligned ( $Eh=0,65$ ). The paper contains the data on ecological and morphological as well as trophic structure of ornithofauna. The density of nesting is estimated for certain species as well as their biomass changing in different seasons of the year.

УДК 504.064.36:574

*А.П. Колбас, С.Н. Волосюк, С.В. Зеркаль, Е.А. Сидорович*

## **СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХВОИ *PICEA ABIES (L.) KARST.* В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

Применение различных подходов показало достоверные различия в химическом составе и морфо-анатомическом строении хвои ели европейской, обитающей в городских и лесных условиях. С увеличением возраста в урбоэкосистемах отмечено значительное повышение содержания некоторых элементов, техногенного происхождения (свинец, никель, хром) и незначительное повышение концентрации большинства биогенных элементов. В фоновых условиях выявлено повышение содержания свинца и снижение концентрации некоторых биогенных элементов (медь, марганец, цинк). В условиях города отмечено сокращение сроков жизни листьев и уменьшение их биометрических параметров, что в целом снижает ассимиляционную поверхность растений. Максимально информативной по большинству исследованных показателей оказалась однолетняя хвоя. Подтверждена возможность использования этого вида растения в качестве индикатора состояния окружающей среды.

### **Введение**

Проблема загрязнения окружающей среды особенно актуальна для городов, в которых проживает большая часть населения нашей страны и где сконцентрированы основные источники техногенных выбросов: автотранспорт, объекты энергетики и промышленные предприятия. В первую очередь повышение концентраций загрязняющих веществ в атмосфере в последние годы связано с увеличением автомобильного парка, дающего до 80% всех поллютантов [1]. Сложившийся в городах жесткий экологический режим приводит также к загрязнению почв, изменению их кислотности и нарушению биологического круговорота химических элементов [2]. Это делает все более актуальным поиск путей оптимизации городской среды и осуществление непрерывного контроля ее состояния. В процессе нейтрализации пагубного действия загрязнителей важнейшая роль принадлежит городским зеленым насаждениям. Именно растения, синтезируя органическое вещество, вовлекают в метаболизм ингредиенты промышленных и автотранспортных отходов и тем самым понижают их концентрацию в окружающей среде. При этом улучшаются микроклимат и санитарно-гигиенические характеристики воздуха и почвы, восстанавливаются ранее загрязненные экосистемы, осуществляется фиторемедиация.

Яркая физиономическая выраженность ответных биологических реакции растений позволяет широко использовать их в биоиндикации состояния урбоэкосистем [3; 4]. Наиболее актуальные подходы в подобных исследованиях на современном этапе используют принципы комплексности и количественной оценки [5]. Это позволяет дать объективную характеристику зеленым насаждениям, выявить видовые особенности устойчивости городских растений к техногенному загрязнению и обосновать мероприятия по оптимизации экологического состояния городской среды.

Для долговременного системного мониторинга чаще всего используются древесные виды растений [3; 4; 6]. Ель европейская (*Picea abies (L.) Karst.*) – лесобразующая порода, которая благодаря своей декоративности широко применяется в озеленении населенных пунктов. Общеизвестно, что в начале XXI века на территории Беларуси сложилась крайне неблагоприятная экологическая обстановка для этого вида. Существует представление о том, что среди множества причин усыхания ельников решающее значение принадлежит техногенному загрязнению [7]. Ухудшение минераль-

ного питания, вызванное увеличением содержания веществ-контаминантов, оказывает негативное влияние на элементный гомеостаз растений через протекание физиологических, биохимических и морфообразующих процессов [8]. Наиболее подвержены этому воздействию ассимиляционные органы, которые играют роль регуляторного звена в функционировании растительных организмов и благодаря активно протекающим ростовым процессам способны накапливать большие количества тяжелых металлов (ТМ), поступающих как с аэральным потоком, так и с корневым поглощением почвенных растворов. На основе анализа химического состава хвои, сохраняющейся на растении в течение нескольких вегетационных периодов и максимально контактирующей с окружающей средой, можно тестировать как дефицит, так и токсичность микроэлементов для растений. Во внешнем и внутреннем строении листа хвойных пород выявлен ряд диагностических признаков [9], чувствительных к изменениям экологических условий [10]. Поэтому изучение состояния этого органа в экстремальных городских условиях приобретает особую значимость в мониторинговых исследованиях.

Цель данной работы – применить различные подходы в исследовании состояния ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) в урбозкосистемах (на примере города Бреста, Беларусь).

В соответствии с поставленной целью программой исследования предусматривалось решение следующих задач:

- 1) определение содержания воды и золы в хвое;
- 2) определение содержания некоторых ТМ в почвах и в хвое различного возраста;
- 3) исследование влияния городских условий на количественную выраженность и уровни варьирования морфологических параметров ассимиляционного аппарата елей;
- 4) изучение изменений анатомического строения хвои в связи с загрязнением окружающей среды.

### **Материал и методика исследования**

Научная новизна данной работы заключается в комплексном подходе для решения поставленных задач. Нами были применены 2 метода: физико-химический и морфолого-анатомический. Образцы листьев были собраны в январе 2009 года с деревьев 60–70-летнего возраста, произрастающих в рекреационной зоне бывшего военного госпиталя в центральной части города Бреста. Для получения фоновых значений были взяты контрольные образцы с одновозрастных деревьев в Национальном парке «Беловежская пушча». На каждом стационаре было отобрано по 5 образцов почв на глубине 20 см.

Для исследования были использованы одно-четырёхлетние летние листья, отобранные со средней части южной стороны кроны (в условиях одинаковой освещенности) с трех модельных деревьев в трехкратной повторности. В итоге каждый признак измерялся не менее 9 раз. Освещенность контролировали люксметром Ю-116. В полуденное время в безоблачный день полная освещенность кроны колебалась от 75000 до 80000 люкс.

Гигроскопическая и общая влажность собранной хвои определяли двуступенчатым методом [ГОСТ 27548–97]. Озоление образцов проводили в муфельной печи. Содержание девяти элементов (Pb, Cd, Co, Cr, Mn, Zn, Cu, Fe, Ni) в растительном материале и почве исследовали на атомно-абсорбционном спектрометре SOLAAR MkII-M6 Double Beam AAS с пламенным атомизатором [ГОСТ 30178–96] в ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси». Для уменьшения погрешностей измерений параллельно производился анализ холостых проб. Также была измерена кислотность в десяти образцах почв с помощью рН-метра Hanna instruments рН 210 [ГОСТ 26423-85].

Определяли массу 100 хвоинок, их длину, количество на 10 см стебля, затем ма-

териал фиксировали в смеси этилового спирта с глицерином. Изготовление срезов и постоянных препаратов осуществляли по общепринятой в анатомии растений методике. Анализ постоянных препаратов проводили на световых микроскопах «Биолам» Р-15 и Л-212. Анатомические измерения (25 по каждому признаку) проводили с помощью винтового окуляр-микрометра МОВ-1-15.

Математическая обработка включала расчеты средней арифметической ( $M$ ), стандартного отклонения ( $\sigma$ ) и ошибки средней ( $m$ ). Статистическая достоверность полученных данных определялась с применением программы R software version 2.9.2. Были высчитаны критерий Стьюдента ( $t$ -критерий), критерия линейной корреляции Пирсона. Для всех результатов исследований различия считались достоверными при уровне значимости 95% ( $p < 0,05$ ).

### Обсуждение результатов

Городские почвы характеризуются большей концентрацией исследованных элементов по сравнению с фоновыми условиями. Так, содержание кобальта в них больше в 53 раза, цинка в 2 раза, меди в 1,8 раза, никеля в 7,8 раза, хрома в 2 раза, свинца и кадмия – более чем в 1,5 раза. Но во всех случаях содержание элементов не превышало предельно допустимых концентраций (ПДК) (таблица 1). В то же время, в фоновых почвах был зафиксирован небольшой дефицит кобальта – 0,01 мг/кг при критическом пределе минимального содержания в почве этого элемента – 0,02 мг/кг. Остальные почвенные показатели были схожими, например, значения рН почвы на обоих стационарах были в пределах 6,1–6,5 и достоверные различия не были выявлены статистически.

Анализ физико-химических показателей хвои свидетельствует об их большом возрастном варьировании. С возрастом происходит увеличение процентного содержания воды (таблица 2). Причем на втором и четвертом году жизни в хвое возрастает количество связанной воды. Эти пики совпадают с увеличением содержания ТМ, что может служить косвенным подтверждением усиления аккумулялирующей способности листьев в эти периоды. Это можно объяснить необходимостью большего количества воды для образования гидратных оболочек в мицеллах комплексных соединений ТМ, депонированных в растительной клетке, при переходе листа к стадиям зрелости и старения, когда количество расхожей воды в растении снижается. Статистически различия между влажностью листьев, собранных в городских и лесных условиях, не подтвердились, что свидетельствует о малоинформативности данного признака для долговременного мониторинга.

Наряду с повышенным содержанием воды зольность в исследованных органах в условиях загрязнения также была выше контрольной (таблица 2). Установление корреляционных связей между зольностью растительных проб и содержанием в них ТМ дало основание полагать, что этот показатель зависит в первую очередь от наличия таких элементов, как Pb, Fe, Cr, Ni, Cu и Zn (таблица 3). Также необходимо отметить, что прослеживается обратная зависимость зольности и содержания марганца в фоновых условиях, что связано с перераспределением этого жизненно важного элемента между старыми и молодыми листьями (таблица 3). Выявлены статистически достоверные различия содержания золы в зависимости от условий произрастания ( $p = 0,02$ ). Это позволяет использовать его для экспресс-тестов в дальнейших мониторинговых исследованиях без привлечения дорогостоящего аналитического оборудования.

Полученные результаты по содержанию ТМ в хвое разных возрастов у деревьев, обитающих как в антропогенно-трансформированной, так и в условно чистой среде свидетельствуют, что ни в одном из случаев не наблюдалось превышения фитотоксического максимума (таблица 3). Однако у различных авторов значения токсических пределов, как и значения ПДК в объектах окружающей среды, весьма разнятся (таблица 3),

поэтому в настоящее время не существует общепризнанных норм для каждого вида растений.

Распределение точечных концентраций металлов в разновозрастной хвое показало, что связь их с возрастом хвои аппроксимируется уравнениями различных функций, отличных от линейной (чаще экспоненциальными). По полученным экспериментальным данным построены убывающие ряды, иллюстрирующие изменение положения элемента по отношению к другим с возрастом в фоновых и городских условиях:

Фон, 1-летняя хвоя:  $Mn > Zn > Fe > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb > Co$ .

Фон, 4-летняя хвоя:  $Mn > Fe > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd > Co$ .

Город, 1-летняя хвоя:  $Zn > Mn > Fe > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Co$ .

Город, 4-летняя хвоя:  $Fe > Zn > Mn > Cr > Cu > Pb > Ni > Cd > Co$ .

В обоих случаях наблюдается уменьшение роли цинка наряду с возрастанием концентрации железа в стареющих листьях, что подтверждает общепризнанные представления об антагонизме этих двух металлов [11; 12]. Марганец же склонен к накоплению в молодых тканях с интенсивным ростом, затем его роль снижается. Причем в городских условиях содержание этого жизненно важного элемента даже в однолетней хвое значительно ниже, чем в фоновых условиях. Блокирование его поступления происходит вследствие повышения концентраций элементов-антагонистов (Fe, Cr, Pb) [11; 12].

Для выявления физиологической роли различных микроэлементов и особенностей их миграции в системе «почва–растение», нами были рассчитаны коэффициенты биологического накопления (КБН), представляющие собой отношение содержания элемента в органе растения к содержанию его в почве (таблица 4).

Для цинка и меди выявлены противоположные тенденции: в случае городских елей фиксировались низкие значения КБН в однолетней хвое, которые с возрастом увеличивались. В то же время в фоновых условиях поглощение этих элементов было выше в молодых листьях, а с возрастом их поступление постепенно уменьшалось, предположительно за счет перераспределения из стареющей хвои в более молодые ткани. Примечательно, что для четырех жизненно важных элементов (Mn, Zn, Fe, Cu) содержание их в хвое не связано с концентрациями в почве, т.е. растение накапливает и постоянно перераспределяет эти элементы между тканями, даже если наблюдается их недостаток в почве.

В городских деревьях с возрастом значительно увеличивается поглощение некоторых элементов техногенного происхождения (Pb, Cr, Ni). Причем на втором году наблюдается скачкообразное повышение их содержания. Это связано с замедлением формирующих процессов в игольчатом листе и переходе к ассимиляции и депонированию. На четвертом году жизни фиксируются довольно большие значения КБН для свинца и хрома (0,95 и 1,97 соответственно), что может являться следствием аэротехногенного загрязнения, когда элемент в большей степени накапливается в кутикуле хвои [13].

Содержание кадмия, хрома и никеля в фоновых условиях с возрастом практически не изменяется, в то время как концентрация свинца увеличивается более чем в 20 раз. Причиной такого повышения в фоновых условиях также может быть аэральный путь поступления за счет трансграничного переноса, весьма ощутимого в западной части НП «Беловежская пуца» [6; 14]. Однако данное предположение требует дальнейшего изучения.

Городская среда влияет на целый ряд биометрических признаков листа ели европейской (рисунок 1). Прежде всего это приводит к сокращению продолжительности жизни хвои: если в фоновых условиях хвоя сохраняется на дереве в течение 6–7 лет (иногда до 9 лет), то в городе – только 3–4 года. Причем начиная уже со второго года жизни в условиях города наблюдается появление некрозов и хлорозов хвои. Это свидетельствует об

увеличении физиологического возраста растений как одной из стратегий активной адаптации растений к действию неблагоприятных условий окружающей среды.

Анализ размеров хвои показал, что у елей в городских условиях происходит уменьшение ее длины. Причем наиболее сильные различия в этом показателе характерны для хвои первого года (32%), средние – для второго (21%) и третьего года (14%) и меньше всего отличается хвоя четвертого года (6%). Снижение с возрастом различий по данному показателю свидетельствует о большем стрессе у молодых листьев и о постепенной адаптации с возрастом ассимиляционного аппарата к условиям городской среды, а также о более длительном протекании ростовых процессов у листьев в условиях техногенного загрязнения.

Масса 100 хвоинок характеризуется наибольшей точностью наряду с наименьшей ошибкой и варьированием. Этот показатель в городских условиях меньше на 12–53 %, чем в условиях чистой зоны. Такая же тенденция отмечена ранее у листьев ели европейской под действием других стресс-факторов, в частности недостаточного освещения [10].

Уменьшение длины и массы хвои ели европейской в условиях техногенного загрязнения компенсируется большим количеством листьев. Охвоенность побегов первого года в городе на 72% больше. В дальнейшем различия в этом показателе у хвои второго и третьего года менее значительны и составляют соответственно 9% и 5%, а на четвертом году жизни наблюдается уменьшение охвоенности опытных деревьев по сравнению с фоновыми на 40%. Это означает, что начиная с четвертого года в городских условиях наблюдается усиление дефолиации. Похожие тенденции отмечаются и другими авторами [7; 13].

Анализ анатомического строения листа показал, что клетки мезофилла в условиях города имеют меньшие размеры и низкую степень складчатости оболочек (рисунок 2). Наблюдается тенденция к уменьшению размеров смоляных ходов (в 1,5–2 раза), проводящего цилиндра (в 1,2–1,5 раза) и элементов ксилемы и флоэмы (в 1,1–1,3 раза). Такая же закономерность наблюдается у хвои, сформировавшейся в условиях затенения [10]. Постоянное загрязнение воздуха угнетает развитие смоляных ходов. Они могут или вообще не формироваться, или формироваться на третьем-четвертом году. Это подтверждает ранее высказанное мнение о зависимости формирования смолоносной системы от действия стресс-факторов [10]. В целом для городских елей характерна некоторая ксерофизация, выраженная в более сильном развитии покровных и механических структур: кутикулы, гиподермы, склеренхимы (таблица 5).

Таблица 1 – Содержание микроэлементов в почвах (средние значения), мг/кг

Микроэлементы / Условия	Pb	Cd	Cu	Mn	Zn	Fe	Ni	Co	Cr
Фон	0,53	0,14	2,67	31,29	22,46	235,60	0,20	0,01	0,73
Город	0,86	0,22	4,88	90,60	48,11	210,34	1,57	0,53	1,53
ПДК*	32	1	33	1000	55	5000	20	20	100

Примечание – \*Кабата-Пендиас, 1989 [11]

Таблица 2 – Влажность и зольность хвои различного возраста (средние значения), %

Условия	Возраст хвои, лет	Влажность гигроскопическая	Влажность общая	Зола сухая	Зола сырая
Фон	1	6,2	52,0	3,0	3,2
	2	7,3	55,8	4,2	4,5
	3	5,5	56,0	4,8	5,1
	4	6,1	56,3	5,5	5,8
Город	1	6,9	52,7	4,4	4,7
	2	8,2	56,8	6,1	6,7
	3	6,1	56,0	7,7	8,2
	4	6,6	57,4	8,4	9,0

Таблица 3 – Содержание микроэлементов в хвое различного возраста (средние значения), мг/кг

Условия	Возраст хвои, лет	Pb	Cd	Cu	Mn	Zn	Fe	Co	Ni	Cr
Фон	1	0,02	0,045	1,33	35,3	11,2	1,7	–	0,14	0,29
	2	0,16	0,043	1,04	24,0	8,7	15,4	–	0,11	0,41
	3	0,25	0,048	0,69	25,3	7,1	14,4	–	0,10	0,41
	4	0,29	0,047	0,55	22,3	6,8	16,2	–	0,11	0,42
Город	1	0,07	0,038	1,06	7,7	16,4	1,2	0,0010	0,33	0,44
	2	0,46	0,036	1,90	7,8	17,8	30,4	0,0009	0,50	2,01
	3	0,63	0,048	1,94	7,3	18,2	37,7	0,0009	0,55	2,41
	4	0,82	0,051	2,14	6,5	20,2	45,1	0,0010	0,62	3,01
Коэффициент корреляции с зольностью		0,98	0,40	0,67	–0,76	0,66	0,95	–0,16	0,83	0,92
Содержание в растениях (min-max)*		0,1–1,25	0,08–0,28	1,2–30	15–500	30	18–1700	–	0,1–3,7	–
Фитотоксический максимум**		1	0,05	10	200	50	150	–	1,5	–

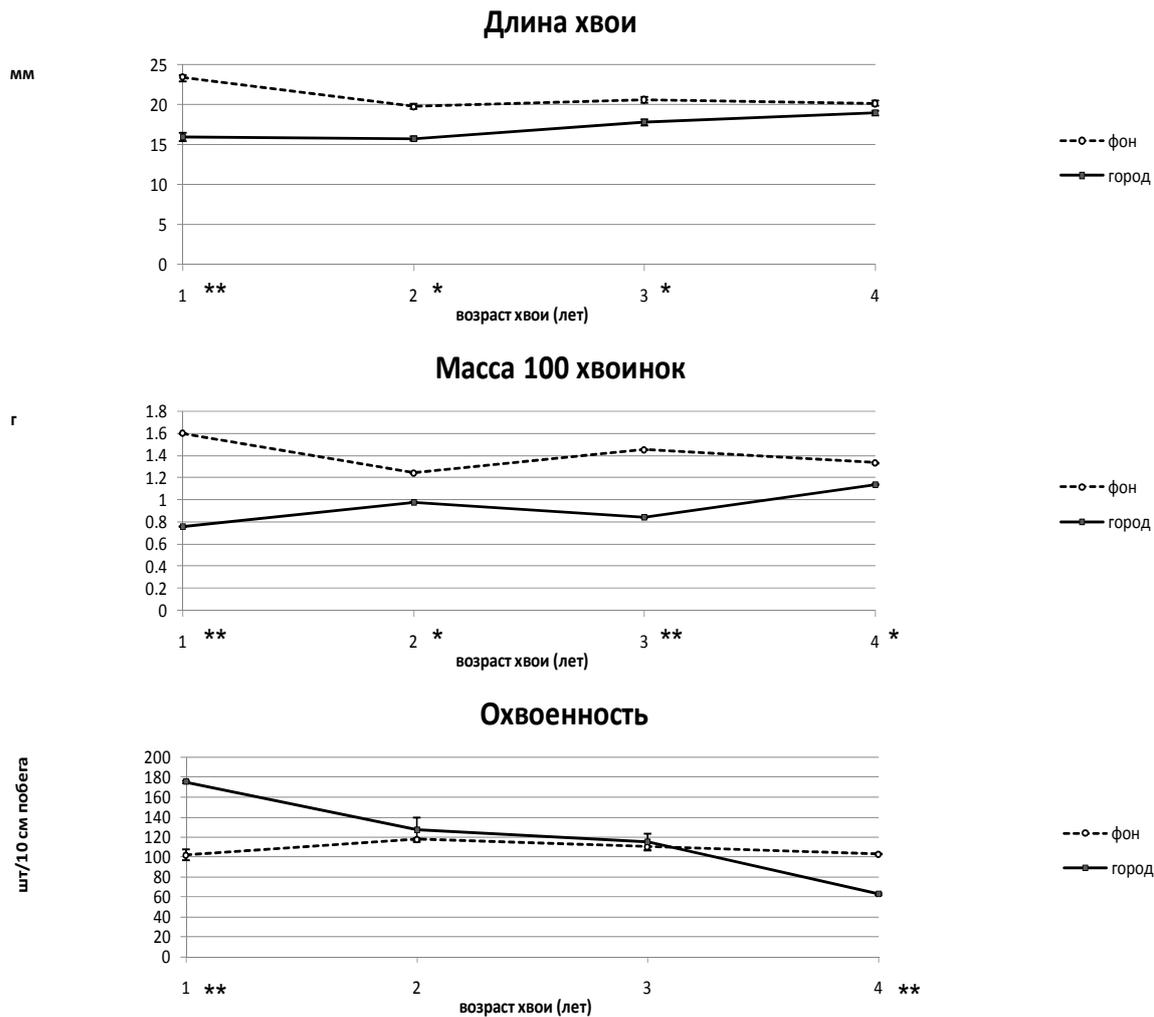
Примечание – \* Кабата-Пендиас, 1989 [11], \*\* Markert, 1992 [15]

Таблица 4 – Коэффициенты биологического накопления

Стационар	Возраст хвои	Pb	Cd	Cu	Mn	Zn	Fe	Co	Ni	Cr
Беловежская пуща	1	0,04	0,32	0,50	1,13	0,50	0,01	–	0,70	0,40
	2	0,30	0,31	0,39	0,77	0,39	0,07	–	0,55	0,56
	3	0,47	0,34	0,26	0,81	0,32	0,06	–	0,50	0,56
	4	0,55	0,34	0,21	0,71	0,30	0,07	–	0,55	0,58
Брест	1	0,08	0,17	0,22	0,08	0,34	0,01	0,002	0,21	0,29
	2	0,53	0,16	0,39	0,09	0,37	0,14	0,002	0,32	1,31
	3	0,73	0,22	0,40	0,08	0,38	0,18	0,002	0,35	1,58
	4	0,95	0,23	0,44	0,07	0,42	0,21	0,002	0,39	1,97

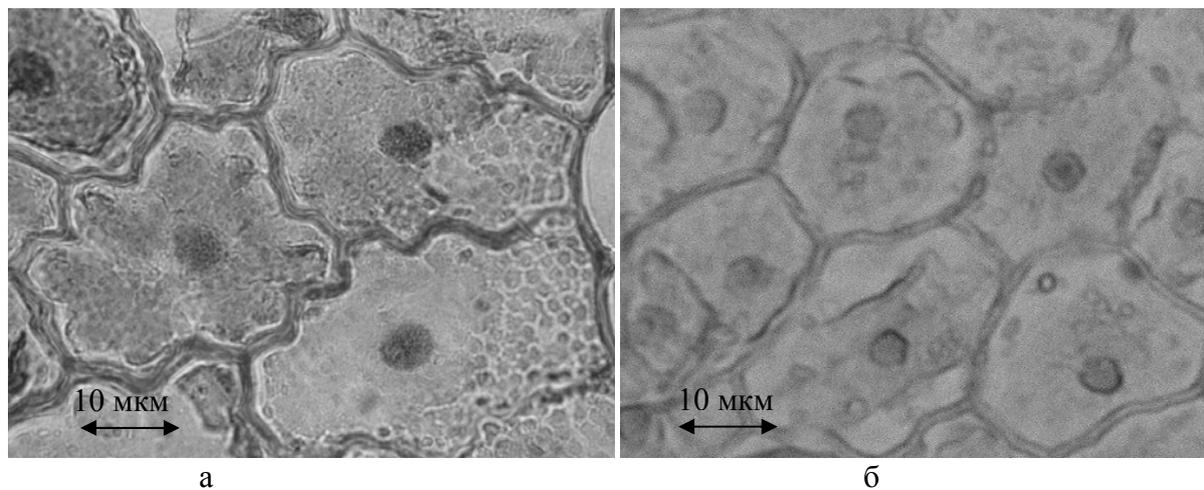
Таблица 5 – Количественные анатомические показатели хвои (средние значения), мкм

Признаки	Признаки										
	Возраст хвои, лет	Толщина кутикулы	Тангентальный размер основных клеток эпидермы	Радиальный размер основных клеток эпидермы	Толщина клеточных оболочек гиподермы	Диаметр смоляных ходов	Диаметр проводящего цилиндра	Радиальный размер трахеид	Радиальный размер ситовидных клеток	Тангентальный размер клеток мезофилла	Радиальный размер клеток мезофилла
Фон	1	5,1±0,1	23,2±0,5	11,6±0,2	2,2±0,1	103,3±0,5	307,6±1,2	9,0±0,2	9,6±0,2	45,3±2,0	100,3±2,3
	2	5,6±0,2	25,0±0,6	12,1±0,1	6,1±0,2	130,5±2,3	310,4±1,3	10,0±0,1	10,3±0,2	59,6±2,0	102±1,3
	3	7,9±0,3	30,3±0,1	14,2±0,2	9,2±0,2	132,6±3,0	327,2±3,1	11,1±0,2	10,2±0,2	63,9±2,3	116±5,0
	4	7,8±0,2	31,2±0,3	14,3±0,2	9,3±0,1	131,8±2,0	326,8±3,1	11,0±0,2	10,3±0,1	63,5±2,1	115±3,1
Город	1	8,2±0,06	21,2±0,4	10,2±0,3	8,8±0,2	85,3±0,8	203,9±3,0	8,0±0,25	7,2±0,2	22,1±1,0	91,2±2,0
	2	9,2±0,15	23,1±0,4	12,0±0,2	9,6±0,2	89,7±1,0	215,4±2,5	8,1±0,1	8,2±0,1	26,5±2,0	95,1±2,3
	3	10,6±0,1	24,2±0,4	12,1±0,2	10,8±0,2	101,2±1,0	285,9±2,5	10,0±0,2	8,4±0,1	29,1±2,2	95,1±2,1
	4	10,5±0,1	23,2±0,2	12,0±0,1	10,9±0,2	103,2±1,1	289,1±2,0	10,0±0,1	8,3±0,1	28,9±1,2	96,3±2,0



\* $p > 0,05$ ; \*\* $p > 0,005$

**Рисунок 1 – Биометрические показатели ели европейской**



а

б

(а – фон, б – город)

**Рисунок 2 – Складчатость оболочек клеток мезофилла**