

УДК 581.5

Л.Н. Скрипальщикова, Н.В. Грешилова,
В.В. Стасова, М.А. Пляшечник

АККУМУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ БЕРЕЗНЯКОВ
РАЗНОТРАВНЫХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

L.N. Skripalshchikova, N.V. Greshilova,
V.V. Stasova, M.A. Plyashechnik

STABILITY OF DEVELOPMENT OF BIRCH FORESTS OF GRASS-TYPE
IN INDUSTRIAL POLLUTION ZONE

Скрипальщикова Л.Н. – канд. биол. наук, доц., ст. науч. сотр. лаб. мониторинга леса Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. E-mail: lara@ksc.krasn.ru

Грешилова Н.В. – канд. биол. наук, доц. каф. физики Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: natales2002@mail.ru

Стасова В.В. – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. отдела физико-химической биологии и биотехнологии древесных растений Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. E-mail: roman@akadem.ru

Пляшечник М.А. – мл. науч. сотр. отдела физико-химической биологии и биотехнологии древесных растений Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. E-mail: lilwood@ksc.krasn.ru

Skripalshchikova L.N. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Senior Staff Scientist, Lab. of Wood Monitoring, Institute of Wood named after V.N. Sukachyov, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: lara@ksc.krasn.ru

Greshilova N.V. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Physics, Institute of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University, Krasnoyarsk E-mail: natales2002@mail.ru

Stasova V.V. – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Department of Physical and Chemical Biology and Wood Plants Biotechnology, Institute of Wood named after V.N. Sukachyov, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: roman@akadem.ru

Plyashechnik M.A. – Junior Staff Scientist, Department of Physical and Chemical Biology and Wood Plants Biotechnology, Institute of Wood named after V.N. Sukachyov, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: lilwood@ksc.krasn.ru

Обследованы березняки разнотравные II-III классов бонитета, V класса возраста, произрастающие в Красноярской лесостепи в зоне влияния выбросов алюминиевого завода и тепловой станции. В качестве контрольного насаждения был выбран березняк Маганского лесничества. Цель работы заключалась в определении аккумулярующей способности березовых насаждений и оценке их стабильности развития по индексу флуктуирующей асимметрии листовой пластинки. Экспериментальные исследования проводились в 2013 г. в конце вегетационного периода. В твердом осадке на открытых местах, под пологом насаждений и в листьях определяли алюминий и тяжелые металлы по аттестованным методикам М 04-64-2010 и М 03-07-2009. Индекс флуктуирующей асимметрии (ИФА) для ли-

стьев березы повислой рассчитывался по методике В.М. Захарова с соавторами. Очищающая эффективность березовых массивов, была рассчитана с использованием формулы $K = (O - П)/O \cdot 100 \%$, приведенной в работе Л.С. Дочинжера. В результате установлено, что в полуторакилометровой зоне КраЗа за теплый период года на поверхности почвы техногенной пыли может накапливаться от 26 до 122 т/га. Под пологом исследуемых лесных массивов аккумулируется от 1 до 5 т/га техногенной пыли. В листьях аккумулируются значительные количества алюминия и тяжелых металлов техногенного происхождения, которые превышают нормальное содержание элементов. Коэффициенты очищающей эффективности для березняков разнотравных варьируют от 93 до 98 %, что подтверждает

высокую санитарно-гигиеническую роль этих насаждений. Индексы флуктуирующей асимметрии достигают максимального значения – 0,07, что указывает на экологическое неблагополучие в березняках разнотравных и проявление признаков нестабильного развития физиологически активной части древостоев.

Ключевые слова: аккумуляция, техногенная пыль, береза повислая, *Betula pendula* (Betulaceae), алюминий и тяжелые металлы, коэффициент очищающей способности, флуктуирующая асимметрия.

*The birch stands of grass type, II-III growth class, V age class, growing in Krasnoyarsk forest-steppe under the influence of emissions of aluminium works and heating and power plant, were studied. The similar stand in Magansk forestry was chosen as control. The aim of this study was to characterize accumulating capacity of birch stands and evaluate their developmental stability by leaf plate fluctuating asymmetry. The experiment was carried out in late season in 2013. In solid sediments at the open areas, under the canopies and in birch leaves the contents of heavy metals and aluminum was determined by certificated procedures M 04-64-2010 and M 03-07-2009. Fluctuating asymmetry indices for *Betula pendula* leaves were calculated according to the method of V.M. Zakharov et al. Cleaning efficiency of birch stands were found by a formula $K=(O-C)/O \cdot 100\%$ from the study of L.S. Dochinger. It has been found that in one-and-a-half-kilometer zone from Krasnoyarsk aluminium works on the ground surface 26–122 t/hectare of technogenic dust may be deposited during the season. Under the canopy of studied stands 1–5 t/hectare of the dust were accumulated. In the birch leaves considerable amounts of aluminum and heavy metals were stored, exceeding their normal contents. Coefficients of cleaning efficiency of birch stands varied from 93 to 98 % that confirmed the great sanitation importance of these stands. The maximal values of fluctuating asymmetry indices were 0.07 that pointed out ecological disturbances in these grass-type birch stands and*

appearance of unstable development of physiologically active parts of the stands.

Keywords: accumulation, anthropogenic dust, birch tree *Betula pendula* (Betulaceae), aluminum and heavy metals, coefficients of cleaning efficiency, fluctuating asymmetry.

Введение. Основным предназначением пригородных лесов является выполнение ими средообразующих, санитарно-гигиенических, рекреационных функций [1–3]. В зависимости от формы и интенсивности антропогенного воздействия в пригородных лесных экосистемах могут возникать и развиваться деструктивные и восстановительные сукцессии [4, 5]. Пригородные леса являются важнейшим объектом исследований как лесной экологии, так и экологии города. Особенно актуально в условиях постоянно действующих высоких техногенных нагрузок изучение устойчивости лесных сообществ и определения их экологических рисков по отношению к деятельности человека [6].

Цель исследований: определение аккумуляционной способности березняков разнотравных, произрастающих в Красноярской лесостепи в зоне влияния алюминиевого производства и тепловой станции, и оценка их стабильности развития по индексу флуктуирующей асимметрии листовой пластинки.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований служили березняки разнотравные V класса возраста, II-III классов бонитета, полнотой 0,5–0,9, произрастающие под влиянием выбросов КрАЗа, ТЭЦ-3 и автомобильного транспорта (рис. 1). В качестве контроля был выбран березняк разнотравный V класса возраста, II класса бонитета, полнотой 0,8 в Маганском лесничестве в 40 км от г. Красноярска.

Экспериментальные исследования по выявлению техногенных нагрузок на березовые насаждения в зоне воздействия КрАЗа проводились в 2013 г. в конце вегетационного периода. Аккумуляция пыли на поверхности почвы открытых территорий и в лесных массивах изучалась по следующей методике.

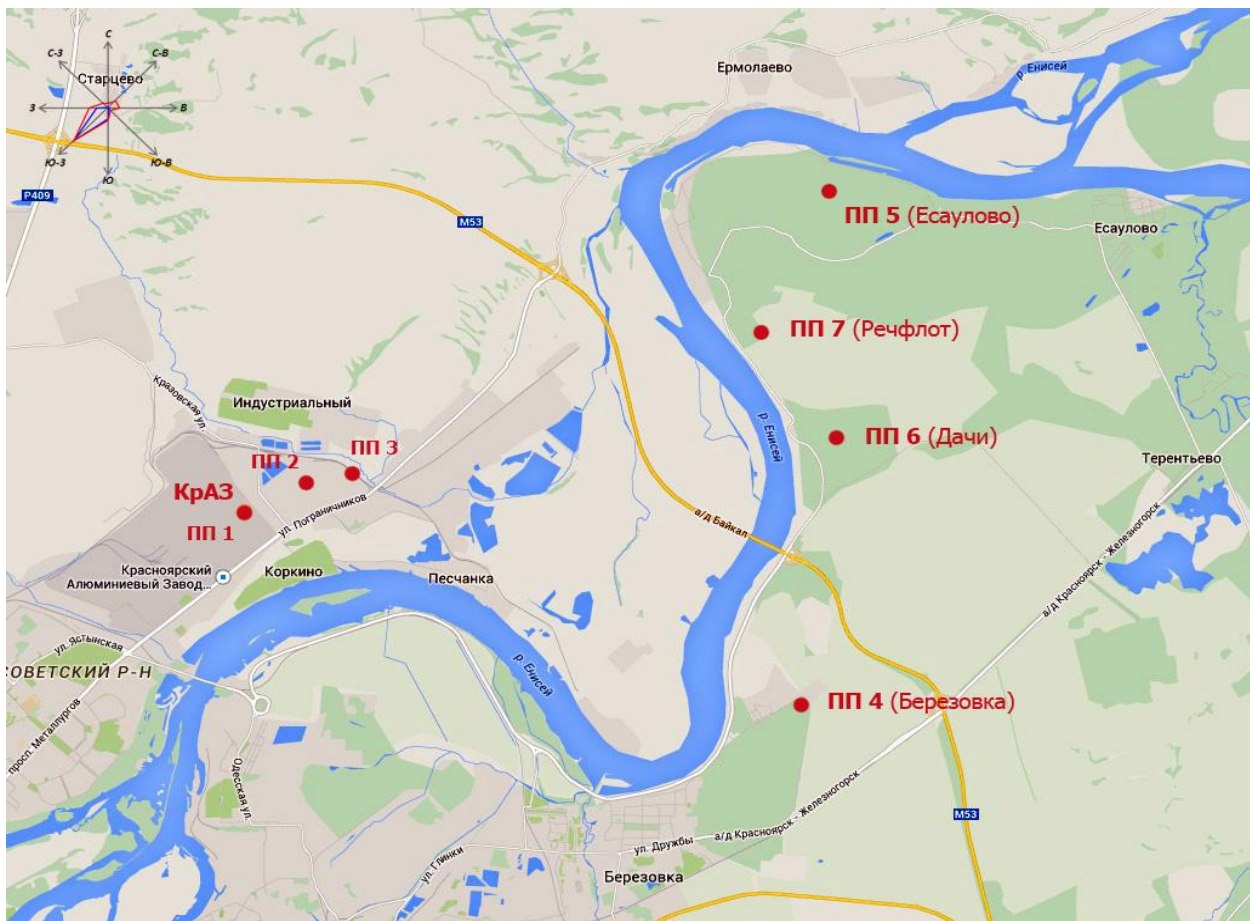


Рис. 1. Объекты исследований в Красноярской лесостепи:
 ПП 1–ПП 3 – пробные площади на открытых местах;
 ПП 4–ПП 7 – пробные площади в березняках разнотравных

В июне 2013 г. на открытых пространствах в зоне влияния КрАЗа и под пологом исследуемых березняков были установлены емкости для сбора осадков. Осадки, проникшие в приемники, были собраны в конце теплого периода 2013 г. с последующей их фильтрацией через абсолютно сухие фильтры. В твердом осадке и листьях определяли алюминий и тяжелые металлы (Cu, Co, Cd, Ni, Zn, Pb) на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД по аттестованным методикам М 04-64-2010 [7] и М 03-07-2009 [8]. Количественным показателем нарушения стабильности развития является индекс флуктуирующей асимметрии (ФА). Индекс флуктуирующей асимметрии для листьев березы повислой рассчитывался по методике В.М. Захарова с соавторами [9].

Очищающая эффективность березовых массивов, характеризующая роль березняков, произрастающих в зонах с техногенным загрязнением, в очистке атмосферного воздуха от пыли, была рассчитана с использованием формулы $K = (O - П) / O \cdot 100 \%$, приведенной в работе Л.С. Дочинжера [10], где K – очищающая эффективность насаждений; O – масса пыли на открытом месте; $П$ – масса пыли под пологом насаждения.

Результаты исследований и их обсуждение. Установлено, что в полторакилометровой зоне от КрАЗа за теплый период года на поверхности почвы может накапливаться от 26 до 122 т/га техногенной пыли (рис. 2, А). Под пологом исследуемых лесных массивов может проникать от 1 до 5 т/га техногенной пыли (рис. 2, Б).

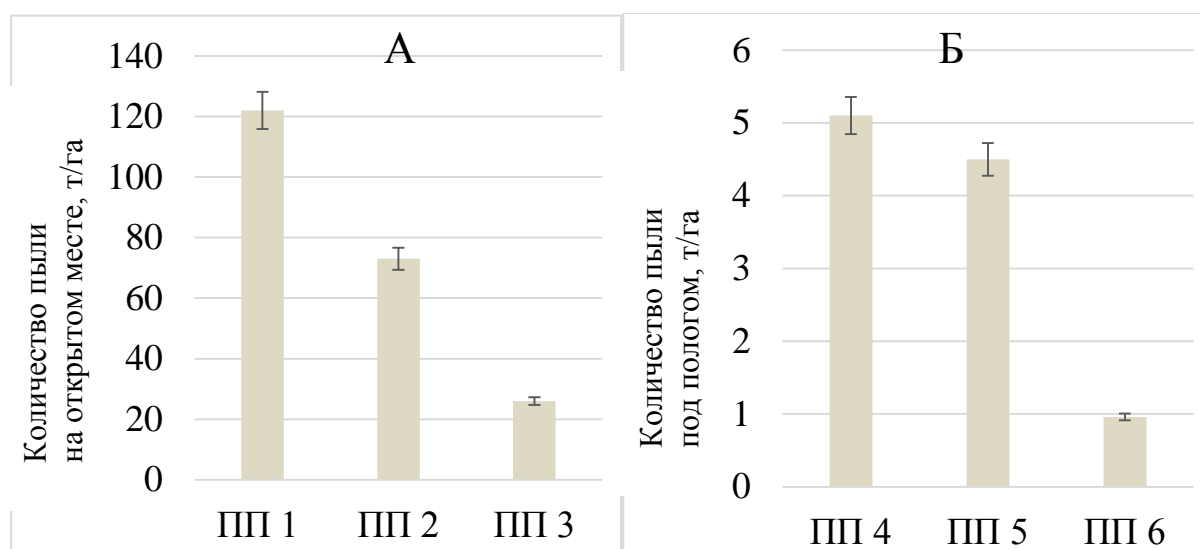


Рис. 2. Аккумуляция техногенной пыли на открытом месте (А) и под пологом березняков (Б)

Максимальное количество пыли (5,1 т/га) выявлено под пологом березняка разнотравно-осочкового (ПП 4). Несколько меньше (4,5 т/га) оседает под пологом березняка разнотравно-злакового (ПП 5). Минимальное количество проникает под полог березняка разнотравно-злакового (ПП 6).

Атомно-абсорбционный анализ показал, что в техногенной пыли присутствуют следующие элементы: Cu, Ni, Zn, Co, Al, Cd, Pb. Наибольшие концентрации алюминия, цинка, меди и свинца установлены в березняках в зоне прямого

воздействия выбросов алюминиевого завода и тепловых станций (ПП 4, ПП 5) (табл. 1).

При анализе количественных показателей концентрации элементов в листовой массе обнаружено, что содержание цинка, кобальта и кадмия находится в пределах нормы по Melsted [11]. Содержание никеля превышает в 2,5–8,5 раз его нормальное количество по Melsted [11]. Свинец присутствует в листьях в достаточных количествах по сравнению с показателями Кабата-Пендиас, Пендиас [11], однако по Melsted [11] – превышает в 2 раза на пробных площадях 5 и 6 (табл. 2).

Таблица 1

Содержание элементов в техногенной пыли, мг/кг сух. пыли

Элемент	Пробная площадь*					
	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	ПП 5	ПП 6
Cu	27,02±5,6	22,6±4,7	12,4±2,6	6,6±1,4	5,7±1,2	4,1±0,8
Ni	41,4±8,7	3,4±0,7	8,2±1,7	1,4±0,3	4,1±0,8	1,2±0,2
Zn	65,2±13,7	49,6±10,4	56,2±11,8	48,4±10,1	43,5±9,1	24,6±5,1
Co	1,1±0,2	0,4±0,09	0,5±0,1	0,15±0,03	0,2±0,04	0,1±0,03
Al	10037,6±2107,9	1687,3±354,3	3692,5±775,4	338,7±71,1	1036,2±217,1	335,2±70,4
Cd	0,8±0,1	0,08±0,02	0,14±0,03	0,11±0,02	0,11±0,02	0,03±0,006
Pb	5,6±1,1	14,1±2,9	27,9±5,8	6,1±1,3	11,8±2,5	84,1±17,6

* Данные по аккумуляции пыли для ПП 7 и ПП 8 отсутствуют.

Таблица 2

Концентрации элементов в листьях березы повислой, мг/кг абс. сух. массы

Элемент	Пробная площадь					Содержание элементов (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)		Нормальное содержание элементов (Melsted, 1973)*
	ПП 4	ПП 5	ПП 6	ПП 7	ПП 8	достаточное	избыточное	
Cu	6,4±1,3	3,8±1,6	5,4±1,1	5,7 ±1,2	4,2±0,8	-**	-	3–40
Ni	2,4±0,5	8,4±1,8	3,1±0,6	2,5±0,5	5,5±1,1	-	-	0,1–1
Zn	129,2±27,1	116,9±24,5	166,7±35,1	166,7±38,8	89,13±18,7	27–150	100–400	15–150
Co	0,1±0,02	0,2±0,05	0,19±0,04	0,1±0,02	0,1±0,02	0,02–1	15–30	0,01–0,3
Al	85,4±17,9	380,5±79,9	137,2±28,8	68,7±14,4	41,3±8,6	-	-	-
Cd	0,05±0,01	0,11±0,03	0,24±0,06	0,08±0,02	0,1±0,04	0,05–0,2	5–30	0,05–0,2
Pb	2,1±0,5	10,5±2,7	8,5±2,2	6,5±1,7	5,4±1,4	5–10	30–300	0,1–5
Cr	2,1±0,5	4,5±1,2	2,5±0,6	2,5±0,2	0,2±0,07	-	-	-

*Сум. по Baker, Chesnin [11].

**«-» – нет данных.

Расчеты показали, что коэффициент эффективности очистки воздуха от пыли исследуемыми березняками разнотравными в зоне влияния алюминиевого завода и ТЭЦ-3 составил в

летний период 2013 г. от 93 до 98,7 % (рис. 3). Последующие расчеты коэффициента очищающей способности березняков по элементам приведены в таблице 3.

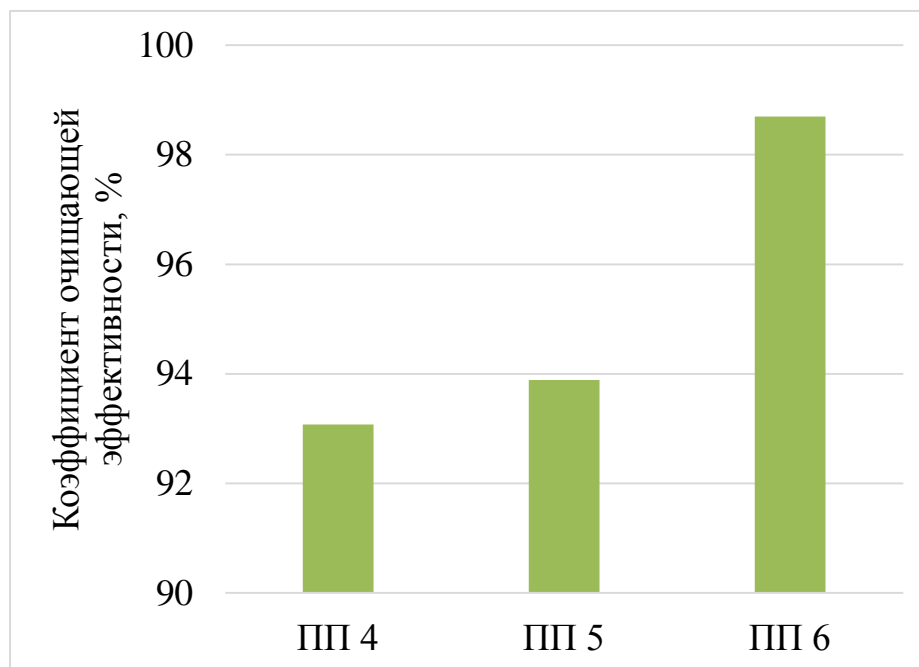


Рис. 3. Коэффициент эффективности очистки воздуха от пыли

**Коэффициент очищающей эффективности атмосферы
от алюминия и тяжелых металлов, %**

Объект исследований	Элемент					
	Al	Co	Cd	Ni	Zn	Cu
ПП 4	93,4	78,0	66,8	91,9	15,0	67,8
ПП 5	79,8	70,8	67,3	76,9	23,6	72,1
ПП 6	93,5	79,5	90,9	93,4	56,9	80,1

Из таблицы 3 видно, что наиболее эффективно березняками разнотравными выводятся из загрязненного воздуха соединения алюминия, никеля и кобальта. Коэффициент очищающей способности для этих элементов составляет от 70,8 до 93,5 %. Коэффициент очищающей способности для цинка, кадмия и меди варьирует от 15,0 до 90,9 %.

В результате расчета индекса флуктуирующей асимметрии по модельным деревьям нами обнаружено, что отклонение в асимметрии наиболее характерно проявляется для берез, произрастающих под воздействием выбросов ТЭЦ-3 и КрАЗа (ПП 4, ПП 5). ФА листовой пластинки здесь составляет $0,07 \pm 0,001$. В чистом местобитании в условиях Маганского лесничества ФА равен $0,04 \pm 0,004$ (рис. 4).

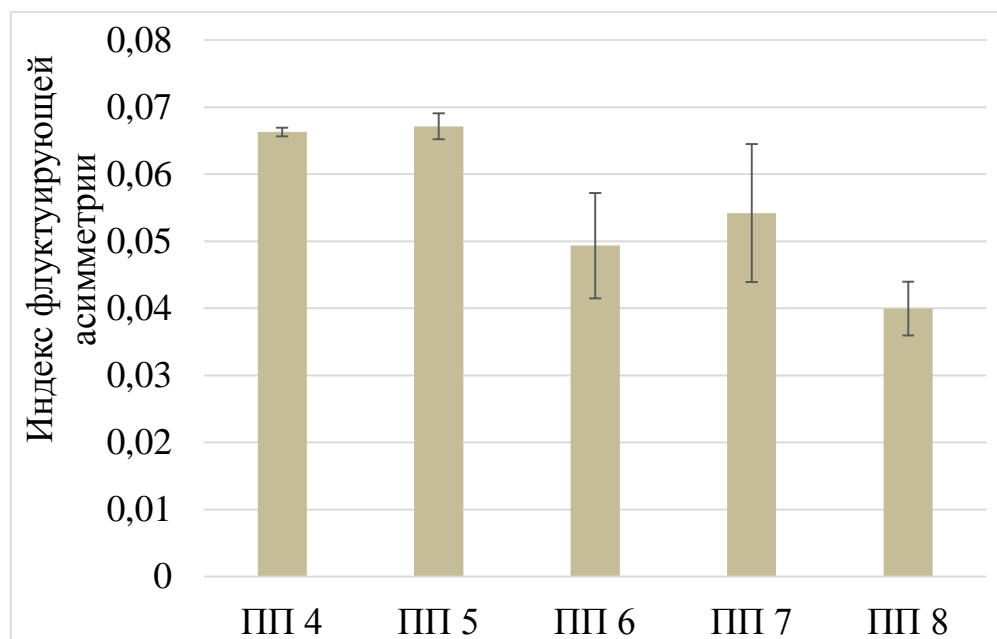


Рис. 4. Индекс флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой

Выводы. Исследования 2013 г. показали, что березняки разнотравные, произрастающие в зоне влияния алюминиевого производства и тепловой станции, подвергаются высоким пылевым нагрузкам. За один летний месяц в насаждениях под полог проникает от 1 до 5 т/га техногенной пыли.

В листьях аккумулируется значительное количество алюминия и тяжелых металлов техно-

генного происхождения, которое превышает нормальное содержание элементов.

Рассчитанные коэффициенты очищающей эффективности для березняков разнотравных (93–98 %) подтвердили их высокую санитарно-гигиеническую роль.

Установлено, что индекс флуктуирующей асимметрии достигает максимального значения – 0,07, что указывает на экологическое неблагополучие в березняках разнотравных и проявле-

ние признаков нестабильного развития физиологически активной части древостоев.

health // *Advances in Agronomy*. – 1975. – Vol. 27. – P. 306–366.

Литература

Literatura

1. *Сергейчик С.А.* Древесные растения и оптимизация промышленной среды. – Минск: Наука и техника, 1984. – 168 с.
2. *Таран И.В.* Рекреационные леса Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 228 с.
3. *Алексеев А.С.* Мониторинг лесных экосистем. – СПб.: Изд-во ЛТА, 1997. – 116 с.
4. *Кузнецова Т.С.* Рекреационное использование лесов // Эколого-экономическая роль леса. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. – С. 68–82.
5. *Павлов И.Н.* Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. – 359 с.
6. *Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В., Татаринцев А.И.* и др. Аккумуляция техногенной пыли березняками разнотравными в зоне воздействия известняковых карьеров г. Красноярск // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 10. – С. 96–101.
7. М 04-64-2010. Определение массовой доли кадмия, мышьяка, олова, ртути, свинца, хрома в пробах пищевых продуктов и продовольственного сырья. – СПб., 2010. – 40 с.
8. М 03-07-2009. Измерение массовой концентрации металлов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn) в пробах почв, грунтов и донных отложений. – СПб., 2009. – 30 с.
9. *Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И.* и др. Здоровье среды: методика оценки / Центр экологической политики России. – М., 2000. – 66 с.
10. *Дочинжер Л.С.* Атмосферные загрязнители и их влияние на листья лесных деревьев // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. – Таллин: Изд-во АН ЭССР, 1982. – Ч. 1. – С. 86–88.
11. *Baker D. E., Chesnin, L.* Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health // *Advances in Agronomy*. – 1975. – Vol. 27. – P. 306–366.

