

1) В период с 1955 по 1970 годы, где амплитуда колебаний ранней и поздней древесины для обеих зон примерно одинакова, средний индекс прироста ранней древесины в зоне умеренного рекреационного воздействия – 76,20, поздней – 23,80; в зоне усиленного воздействия – 73,62 и 26,38 соответственно.

2) Период с 1970 по 1993 годы характеризуется значительным различием соотношений. Так, для зоны умеренного воздействия средний индекс ранней древесины – 66,99, поздней – 33,01, кривая колебаний сглаженная; для зоны усиленного воздействия – 75,37 и 24,63 соответственно, цикличность более выражена.

3) В период с 1993 по 2010 годы соотношение ранней и поздней древесины для зон с различной рекреационной нагрузкой снова выравнивается: в зоне умеренного воздействия индекс годового прироста ранней древесины – 72,66, поздней – 27,34; в зоне усиленного воздействия – 75,37 и 24,63 соответственно.

Сопоставив динамику радиального прироста на участках с разной рекреационной нагрузкой, можно сделать выводы:

1) в сосновых древостоях, произрастающих изначально в схожих условиях, при длительном воздействии рекреации наблюдается снижение радиального прироста древесины;

2) при длительном воздействии рекреационной нагрузки уменьшается количество поздней древесины.

3) на древостои, угнетенные длительным воздействием техногенных эмиссий, влияние рекреации менее выражено.

#### Литература

1. Битвинкас Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 170 с.

2. Ваганов Е.А., Свицерская И.В., Кондратьева Е.Н. Погодные условия и структура годовичного кольца деревьев: имитационная модель трахеидограммы // Лесоведение. 1990. № 2. С. 37–45.

3. Рудаков В.Е. Методы изучения колебаний климата на толщину годовичных колец // Доклады АН АрмССР: сб. науч. докл. [б.м.], 1981. С.75 – 79.

4. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.

УДК 574.5; 572.1/4

Рунова Е.М. Алпатов Ю.Н., И.И. Гаврилин\*

### НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДРЕВЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В УРБОЭКОСИСТЕМЕ г. БРАТСКА

*В статье приведены некоторые особенности накопления листьями и хвоей деревьев различных элементов в условиях аэротехногенного загрязнения на примере г. Братска.*

**Ключевые слова:** урбоэкосистема, ассимиляционные органы, древесные насаждения, аэротехногенное загрязнение, химический состав.

В современных условиях развития промышленного производства, роста численности населения, увеличения количества автотранспорта и освоения новых районов усиливается пагубное воздействие на окружающую среду. Особенно велика антропогенная нагрузка на окружающую среду и здоровье человека в городах. В настоящее время городские экосистемы занимают около 1,5 % всей площади земного шара [1]. В связи с этим изучение экологического состояния урбосистем имеет важное значение для определения степени экологической нагрузки на окружающую среду городов и городское население.

Одним из основных факторов, оказывающих негативное влияние на урбоэкосистему и в частности на ее компоненты, является загрязнение атмосферы выбросами промышленных предприятий. Среди различных компонентов среды атмо-

сферный воздух является наиболее динамической средой, взаимодействующей со всеми остальными компонентами городской экосистемы. При этом из широкого спектра исследуемых в этой сфере компонентов урбоэкосистем большое внимание отводится древесным насаждениям. Они обладают уникальной фильтрующей способностью: поглощают из воздуха и нейтрализуют в тканях значительное количество вредных компонентов промышленных эмиссий, способствуя сохранению газового баланса в атмосфере [2].

Город Братск расположен в южной части Среднесибирского плоскогорья, на берегу Братского водохранилища, в зоне очень высокого ПЗА (потенциала загрязнения атмосферы). С 1995 г. Братск включается в приоритетный список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха [3].

Братск относится к крупным промышленным узлам Восточной Сибири, здесь размещено более 40 крупных и мелких промышленных предприятий [4]. Наибольшую нагрузку на окружающую среду г. Братска оказывают три ведущие отрасли промышленности: цветная металлургия (предприятие по производству алюминия ОАО «РУСАЛ Братск»); теплоэнергетика (предприятия ИТЭЦ-6, ТЭЦ-7); деревообрабатывающая и деревоперерабатывающая промышленность (ОАО «Группа Илим» в Братске). К основным источникам загрязнения в городе относится также автомобильный транспорт.

Район исследования характеризуется суровыми климатическими условиями. Климат на территории г. Братска резко континентальный, с суровой и продолжительной, но сухой зимой и сравнительно теплым, с обильными осадками, летом. В среднем за год выпадает 369 мм осадков, из которых 25 % приходится на холодный период и 75 % – на теплый. Сумма положительных температур составляет 1500-1620°. Снежный покров в среднем 40-50 см, наибольшей мощности достигает в конце февраля – первой декаде марта. Незначительная мощность снегового покрова способствует глубокому промерзанию почвы – до 1,5-2,0 м под пологом леса и до 3,0 м на открытых площадях. Данные условия оказывают большое влияние на устойчивость древостоев. Такие метеорологические факторы, как инверсии, большая повторяемость штилей и слабых ветров, наличие туманов и преобладание незначительного количества осадков усиливают негативное воздействие промышленных выбросов.

Целью исследования данной работы является определение состояния древесных растений в условиях аэротехногенного загрязнения г. Братска с помощью экспериментальных данных по химическому составу хвои и листьев.

Объектами исследования выступали шесть основных видов деревьев, представленных в зеленых насаждениях Братска: сосна обыкновенная (*Pinus silvestris L.*), лиственница сибирская (*Larix sibirica Ldb.*), тополь бальзамический (*Populus balsamifera L.*), береза повислая (*Betula pendula Roth.*), береза пушистая (*Betula pubescens Ehrh.*), осина (*Populus tremula L.*).

Исследования зеленых насаждений проводились в 2008-2010 годах в трех территориально-административных округах урбоэкосистемы Братска: Падунском, Правобережном и Центральном.

Для анализа использовались данные 30 пробных площадей, 8 опытных площадей было заложено в насаждениях Центрального округа, 14 в Падунском, 5 в Правобережном округах; 3 контрольных площади расположены в значительном удалении от городской черты (до 200 км), на относительно чистой территории.

На пробных площадях производилось лесоводственно-геоботаническое описание с указанием особенностей древостоя, почвенного покрова, оценивались санитарное состояние насаждений, кроны деревьев и морфометрические показатели. Был проведен химический анализ хвои и листьев древесных насаждений на основании образцов, собранных на пробных площадях.

Химический анализ ассимиляционных органов, так называемый «листовой анализ», является достаточно информативным. Данные такого анализа свидетельствуют не только о накоплении токсических веществ при воздействии загрязнителей, но и об изменении элементного состава листьев и хвои в целом. Таким образом, если качественные и количественные нарушения элементного состава являются следствием отрицательного влияния на метаболизм, то, определив баланс элементов в организме, можно достаточно точно охарактеризовать его состояние и даже спрогнозировать тенденцию дальнейшего изменения [5].

Химический анализ включал в себя опробование хвои и листьев, которое проводилось в каждом втором пункте наблюдений. Всего было отобрано 190 проб растений. Пробы хвои и листьев деревьев промывались, высушивались, измельчались и после квартования направлялись в лабораторию. Пробы хвои и листьев деревьев были проанализированы на содержание различных элементов приближенно-количественным спектральным анализом. Анализы выполнялись в лабораториях ФГУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений» (Братский отдел ФГУ «ЦИАТИ»), ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области» в г. Братске и Братском районе. Метрологическая оценка качества анализов осуществлялась в соответствии с требованиями ОСТ-41-08-212-82.

При оценке воздействия аэротехногенного загрязнения первоочередное значение приобретают исследования фоновых территорий, характеризующихся минимальным загрязнением сформированных на них природных экосистем. Доказано, что растения первыми испытывают на себе воздействие промышленного загрязнения и обладают в сравнении с животными и человеком более высокой чувствительностью к аэротоксикантам, поэтому часто используются в качестве основных индикаторов состояния окружающей среды [5]. Среди древесных пород особое внимание уделяется хвойным, имеющим на порядок меньшую устойчивость к атмосферным загрязняющим веществам, чем лиственные породы [6]. На территориях, где промышленное загрязнение отсутствует или минимально, о чем свидетельствует содержание элементов в ассимиляционных органах деревьев, состояние лесных экосистем, как правило, соответствует фоновому и представляет собой «точку отсчета», с которой можно сравнивать

состояние древесных насаждений, произрастающих в условиях техногенного загрязнения.

На обследованной территории в фоновых районах были заложены три пробные площади, характеризующиеся минимальным уровнем загрязнения. Анализ химического состава хвои и листьев деревьев, произрастающих на фоновых участках, представлен в таблице 1.

Полученные данные показывают, что в местах естественного обитания в деревьях всех видов наиболее равномерно распределены свинец, титан, медь, никель, серебро, фосфор и свинец, содержание которых изменяется, как правило, не более чем в два раза. Распределение остальных микроэлементов по видам варьирует от 3-5 раз (бор, стронций, барий, цинк, ванадий, хром, молибден) до 10 и более раз (олово, марганец, кобальт). Видовая особенность растений в более

высоких концентрациях в листьях березы повислой цинка, березы пушистой – никеля, листьях осины – хрома, ванадия и фосфора, в листьях тополя бальзамического – стронция, цинка и бора, в хвое сосны обыкновенной – бария и титана, в хвое лиственницы сибирской – марганца.

Химический состав хвои и листьев городской древесной растительности представлен в таблице 2.

В целом городская древесная растительность (по территориально-административным округам) по элементному составу значительно отличается от естественных аналогов. Как видно из таблицы 2, она в среднем обогащена по сравнению с деревьями естественных местообитаний большинством из обнаруженных микроэлементов.

Таблица 1

Химический состав хвои и листьев древесной растительности на фоновых участках (среднее содержание элементов)

Химические элементы	Содержание в мг/кг сухого вещества					
	<i>Pinus silvestris</i> L.	<i>Larix sibirica</i> Ldb.	<i>Populus tremula</i> L.	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	<i>Populus balsamifera</i>
<b>Зольность, %</b>	7,3	7,4	10,2	5,1	5,8	10,7
<b>Sr</b>	45	25	32	22	31	56
<b>Ba</b>	283	84	59	143	93	67
<b>Ti</b>	15	7	16	8	8	11
<b>Mn</b>	734	816	612	542	576	195
<b>Cr</b>	0,6	0,3	1	0,5	0,4	0,3
<b>V</b>	0,9	0,8	1	0,6	0,5	0,2
<b>Ni</b>	3,8	2,3	4,8	5,2	6,2	3,7
<b>Co</b>	0,2	0	0,1	0,5	0,1	1,3
<b>Cu</b>	6,2	5,4	10,6	4,8	5,3	8,2
<b>Ag</b>	0,04	0,6	0,05	0,04	0,03	0,06
<b>Zn</b>	17	34	52	52	13	66
<b>Pb</b>	1,8	1,4	2,3	1,6	1,2	1,2
<b>Sn</b>	0,06	0,09	0,19	0,05	0,03	0,45
<b>Mo</b>	0,14	0,09	0,17	0,04	0,02	0,28
<b>P</b>	782	792	1127	566	597	978
<b>B</b>	29	56	59	37	46	89

Таблица 2

*Химический состав хвои и листьев городской древесной растительности по территориально-административным округам*

Вид	Округ	*, %	Содержание в мг/кг сухого вещества															
			Sr	Ba	Ti	Mn	Cr	V	Ni	Co	Cu	Ag	Zn	Pb	Sn	Mo	P	B
Сосна обыкновенная	1	7,8	48	201	37	345	0,9	1,9	2,2	0,2	7,2	0,04	18	3,9	0,15	0,13	763	39
	2	8,2	57	146	49	473	1,6	2,8	2,5	0,3	9,2	0,03	17	7,2	0,21	0,15	760	48
	3	7,5	50	193	77	86	2,9	2,6	1,7	0,2	11	0,02	44	9	0,4	0,23	696	60
Лиственница сибирская	1	7,6	31	52	28	815	1,1	0,8	0,7	0	7,8	0,37	30	3,8	0,09	0,14	812	57
	2	9,3	38	54	31	447	1,5	0,9	0,9	0,1	9,7	0,13	28	4,6	0,18	0,22	903	70
	3	8,5	41	35	38	85	1,4	1,6	0,9	0,2	8,8	0,36	32	6	0,23	0,35	841	79
Осина	1	10,6	35	64	19	313	1,6	1,4	4,6	0,1	12	0,07	49	3,5	0,29	0,24	1133	63
	2	11,8	45	51	65	274	2,9	2,3	4,6	0,1	14	0,05	47	6,8	0,5	0,46	1178	95
	3	10,8	40	66	95	208	4,2	3,7	4,9	0,6	17	0,12	47	9,5	0,87	0,63	1157	79
Береза повислая	1	5,7	28	142	11	447	0,6	0,5	4,1	0,5	5,9	0,06	54	1,7	0,05	0,04	568	38
	2	6,8	41	142	26	384	0,9	0,8	2,2	0,3	7,3	0,05	84	3,6	0,09	0,19	668	53
	3	6,6	32	83	22	157	1,6	1,1	1,3	0,4	8,3	0,12	90	3,8	0,24	0,52	705	61
Береза пушистая	1	6,2	43	47	13	187	0,9	0,8	3,1	0,1	8,4	0,06	14	2,3	0,06	0,1	697	49
	2	8,5	60	56	23	185	1,5	0,9	2	0,1	9,5	0,08	17	3,7	0,38	0,21	884	68
	3	9	56	50	32	116	2,3	1,5	1,6	0,2	11	0,19	21	5,9	0,53	0,47	945	67
Тополь бальзамический	1	10,9	59	57	14	136	0,2	0,2	3,8	1,3	8,2	0,07	78	2,2	0,34	0,29	1002	90
	2	12,1	62	42	21	112	1,5	0,7	1,7	0,8	13	0,15	89	3,7	0,29	0,39	1213	93
	3	12	67	51	19	124	1,4	0,9	1,7	1,2	14	0,08	122	3,9	0,22	0,45	1205	95

Примечания: 1 – Падунский; 2 – Правобережный; 3 – Центральный административно-территориальные округа г. Братска;

\* – зольность, %.

Интенсивно накапливаются всеми видами деревьев олово, молибден, хром, свинец, титан, ванадий. Некоторые микроэлементы характерны только для отдельных видов: для березы пушистой – ванадий, серебро, березы повислой – стронций и ванадий, лиственницы сибирской – кобальт и серебро, сосны обыкновенной – цинк, тополя – ванадий, стронций и цинк, для осины – титан, медь, хром и свинец. Осина демонстрирует в условиях урбоэкосистемы наибольшую способность суммарно накапливать микроэлементы. Деревья, произрастающие в Центральном и Правобережном округах г. Братска, отличаются более высокими концентрациями олова, молибдена, свинца, меди, стронция, титана, ванадия, цинка и свинца, чем в Падунском. Обеднена городская растительность преимущественно биофильными элементами: все виды содержат меньше, чем на фоновых участках, количество марганца, а большинство видов также бария. Однако наибольшим количеством биофильных элементов обладают виды, произрастающие в Падунском округе. Из приведенных данных видно, что элементный состав городской растительности закономерно изменяется в зависимости от территории произрастания. Таким образом, в условиях урбоэкосистемы Братска обедненность деревьев биофильными элементами при одновременном обогащении их элементами, свойственными для загрязненной территории, приводит к нарушению в растениях природных соотношений химических элементов.

По направлению к Центральному округу в ассимиляционных органах деревьев возрастают концентрации титана, ванадия, хрома, меди, молибдена и свинца, распределение других элементов зависит от вида растительности. Такая закономерность по отношению к Центральному округу может быть объяснена концентрацией большинства промышленных предприятий города, наибольшим числом жителей (рекреационная нагрузка), а также ухудшением состояния деревьев из-за снижения их устойчивости к условиям урбоэкосистемы. Следует отметить, что в Правобережном округе также наблюдается повышенное содержание различных элементов. Это обусловлено климатическими особенностями исследуемой территории и влиянием Братского водохранилища на перенос загрязняющих веществ. В связи с большой площадью зеркала водной поверхности водохранилища на прилегающих к берегу селитебных территориях вследствие разности давлений над водной поверхностью и суши наблюдаются свойства для морей и крупных озер атмосферные явления – бризы. Такие особенности способствуют переносу загрязняющих веществ на большое расстояние, что увеличивает площадь прямого токсического воздействия.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Изучен химический состав ассимиляционных органов древесных растений г. Братска по территориально-административным округам и фоновым территориям в экспериментальных условиях. Обнаружены существенные различия в накоплении загрязняющих веществ у различных видов растений.

Выявлено равномерное распределение содержания микроэлементов в местах естественного произрастания у различных видов деревьев, а накопление отдельных элементов зависит от видовой особенности растений.

Установлено, что элементный состав у всех исследуемых видов деревьев в урбоэкосистеме Братска значительно отличается от растений, произрастающих на территориях, удаленных от воздействия эмиссий промышленных предприятий и автотранспорта.

Выявлена зависимость концентрации титана, ванадия, меди, молибдена и свинца в Центральном округе г. Братска. Установлены характерные закономерности накопления различных элементов в Падунском и Правобережном округах города.

На основании экспериментальных данных установлено, что городская растительность преимущественно обеднена биофильными элементами. Показано, что наибольшим количеством биофильных элементов по г. Братску обладают виды, произрастающие в Падунском округе.

Установлено, что элементный состав деревьев в урбоэкосистеме Братска закономерно изменяется в зависимости от территории произрастания.

#### *Литература*

1. Чернышенко О.В. Поглощительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города. М.: МГУЛ, 2002. 120 с.
2. Баскакова Е.А. Оценка состояния воздушной среды г Дубны Московской области с использованием сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в качестве биоиндикатора: бакалавр. работа / Междунар. ун-т природы, о-ва и человека. Дубна, 2009.
3. О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 году : гос. докл. М.: РППР РусКонсалтингГрупп, 2009. 488 с. По заказу М-ва природных ресурсов и экол. Рос. Федерации
4. Рунова Е.М. Влияние техногенного загрязнения на леса Приангарья. Братск, 1999. 108 с.
5. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1979. 278 с.
6. Rozhkov A.S., Mikhailova T.A. The Effects of Fluorine-Containing Emissions on Conifers. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 143 p.