

4. Власова И.И., Копанина А.В. Сравнительная характеристика анатомического строения *Pinus sylvestris* L. из разных районов острова Сахалин // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: сб. мат-лов V Сахалинской молодеж. науч. школы (8–11 июня 2010) / отв. ред. О.Н. Лухачева. – Южно-Сахалинск: Изд-во ИМГиГ ДВО РАН, 2011. – С. 307–314.
5. Ерёмин В.М., Сивак С.В. О влиянии географического положения на анатомическую структуру коры лиственницы даурской // Лесн. журн. – 1978. – №4. – С. 32–37.
6. Ефимов Н.В. Справочник таксатора. – Хабаровск: Гослесбумиздат, 1955. – 205 с.
7. Казаков Л.А., Чамин В.А. Повреждение хвои сосны в результате физиологического иссушения на побережье Белого моря // Структурно-функциональные исследования растений в приложении к актуальным проблемам экологии и эволюции биосферы: тез. докл. науч. чтений памяти профессора А.А. Яценко-Хмелевского. – СПб.: Изд-во Ботан. ин-та им. В.Л. Комарова, 2009. – С. 22.
8. Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Дифференциация сосны обыкновенной по росту и выживаемости в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальной зоны. – 2004. – Т.25, № 1–2. – Вып. 2. – С. 48–56.
9. Кузнецов Вл.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. – М.: Высш. шк., 2005. – 736 с.
10. Полевой справочник таксатора. – Л.: Гослесбумиздат, 1958. – 251 с.
11. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. – М.: Изд-во МГУ, 1960. – 206 с.
12. Сергеев П.Н. Лесная таксация. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1953. – 311 с.
13. Урусов В.М., Лобанова И.И., Варченко Л.И. Хвойные деревья и кустарники российского Дальнего Востока: география и экология. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 111 с.



УДК 630+574.4

Л.Н. Скрипальщикова, В.В. Стасова,  
А.И. Татаринцев, М.А. Пляшечник

#### АККУМУЛЯЦИЯ ТЕХНОГЕННОЙ ПЫЛИ БЕРЕЗНЯКАМИ РАЗНОТРАВНЫМИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ КАРЬЕРОВ г. КРАСНОЯРСКА

В статье приведены уровни пылевых нагрузок на березняки разнотравные, произрастающие под влиянием известняковых карьеров г. Красноярск и в фоновых условиях. Определены количественные характеристики аккумуляции тяжелых металлов на поверхности и внутри листьев березы повислой и хвои сосны обыкновенной в исследуемых насаждениях. Выявлены некоторые особенности и закономерности в процессах аккумуляции.

**Ключевые слова:** техногенная пыль, тяжелые металлы, уровни загрязнения, аккумуляция, березняки разнотравные, известняковые карьеры.

L.N. Skripalshchikova, V.V. Stasova,  
A.I. Tatarintsev, M.A. Plyashechnik

#### ANTHROPOGENIC DUST ACCUMULATION BY GRASSY TYPE BIRCH FORESTS IN LIME PITS INFLUENCE ZONE NEAR KRASNOYARSK CITY

The levels of dust accumulation in grassy types birch forests growing under the influence of lime pits near Krasnoyarsk city and in background conditions are given in the article. The quantitative characteristics of heavy metal accumulation on the surface and inside birch leaves and pine needles in the investigated area are determined. The peculiarities and regularities of accumulation processes are revealed.

**Key words:** anthropogenic dust, heavy metals, pollution levels, accumulation, grassy type birch forest, lime pits.

**Введение.** В лесостепных районах Средней Сибири на смену сосновым насаждениям приходят вторичные березовые леса, которые еще в большей степени, чем сосняки, подвержены антропогенному прессу. Установление уровней антропогенного воздействия на березовые леса, продуцирующие в таких условиях, а также изучение их отклика на техногенное воздействие – вопросы, которые являются весьма актуальными для техногенно-урбанизированных территорий. Такой в настоящее время является пригородная зона вокруг г. Красноярск.

**Цель исследований.** Оценить уровни техногенного воздействия на березняки разнотравные, произрастающие в зоне влияния известняковых карьеров, цементного завода и тепловых станций г. Красноярск на основе количественных характеристик аккумуляции пыли и содержания тяжелых металлов в них в сравнении с фоновыми насаждениями.

**Объекты и методы исследований.** В соответствии с поставленной целью исследований в 2008–2010 гг. изучались нарушенные березняки правобережья города – Базайской лесной дачи, произрастающие в зоне воздействия разрабатываемых известняковых карьеров, цементного завода и ТЭЦ.

Березняки разнотравные, произрастающие в зоне влияния известняковых карьеров, цементного завода и тепловых станций, порослевого происхождения, V–VI классов возраста, с различной долей участия в составе древостоя сосны и осины. Они окружают карьеры с западной и южной сторон, а с восточной и северной сторон расположены дачи горожан и заводские территории. Исследования проводили на топоэкологических профилях, заложенных в 1996 году [1]. Фоновые насаждения – это березовые насаждения Юксеевского лесничества, произрастающие в 100 км от города, разнотравного типа леса, V класса возраста, II–III классов бонитета, сомкнутостью крон 0,7–0,8, и березовые сообщества Емельяновского лесничества, в 40 км от города, порослевого происхождения, VI–VIII классов возраста, с единично встречающейся в составе древостоя сосной и осинной. В исследованиях были использованы стандартные лесотаксационные [2], экологические методики и физико-химические методы. Аккумуляция пыли компонентами березовых насаждений изучалась по методике Ж. Детри [3]. Анализ образцов на содержание тяжелых металлов проводился на программно-аналитическом комплексе на основе портативного рентгенофлуоресцентного кристалл-дифракционного сканирующего спектрометра «СПЕКТРОСКАН-МАКС G» в отделе физико-химической биологии и биотехнологии древесных растений в ИЛ СО РАН. Прибор утвержден в качестве средства измерений Госстандартом РФ [4].

**Результаты исследований и их обсуждение.** В конце вегетационного периода в березняках разнотравных в зоне воздействия карьеров, цементного завода и ТЭЦ при визуальных обследованиях на образцах растительности были выявлены обильные сероватые тонкодисперсные налеты из известняковой, цементной пыли и золы (рис.1). Благоприятными условиями для образования этих налетов являются высокая дисперсность техногенной пыли и осаждение аэрозоля во влажном воздухе, а также большое количество влаги, испаряемое растениями. Количественные уровни содержания такой пыли на листьях и ветках березы повислой в данных березняках приведены на рисунке 2. Из рисунка видно, что количество техногенной пыли на листьях березы повислой в зоне карьера больше, чем в фоновых условиях Юксеевского лесничества, в 2 раза и Емельяновского – в 3. В отличие от физиологически активной листвы, аккумуляция пыли на ветках не отражает четкой тенденции большего количества в "грязных объектах", как в чистых фоновых (рис.2,б). Последнее можно объяснить различиями в индивидуальной структуре модельных деревьев исследуемых березняков и биофизическими конструкциями самих насаждений.

На хвое сосен второго яруса аккумулируется меньшее количество как техногенной, так и природной пыли, чем на листьях березы, по всем исследуемым березнякам. Тенденция большей аккумуляции пыли хвоей сосны обыкновенной в "грязных объектах" по сравнению с чистыми фоновыми сохраняется (рис.2, в).

В таблицах 1–3 представлены результаты анализа содержания микроэлементов на поверхности и в растительных образцах.

Таблица 1

**Содержание тяжелых металлов на поверхности и внутри растительных образцов в березняках в зоне воздействия известняковых карьеров, мг/кг абс. сухой массы**

Местоположение, порода	Микроэлементы				
	Ni	Cu	Cr	Zn	Sr
ПП 1, карьер, заполняемый отходами, береза	47,33±0,88* 4,79±0,51**	80,86±2,92 -	23,23±4,15 7,91±3,20	171,85±1,67 175,07±1,46	332,22±6,99 327,49±5,81
ПП 1, карьер, заполняемый отходами, лиственница	17,83±0,62 5,42±0,55	8,58±2,15 9,9±2,14	45,74±3,98 8,59±3,49	143,24±1,31 49,65±0,65	652,06±8,47 667,35±8,55
ПП 1, карьер, заполняемый отходами, сосна под пологом	18,05±0,66 6,54±0,62	-	20,26±3,79 13,97±3,96	66,64±0,80 127,78±1,35	169,05±5,41 119,56±5,74
ПП 2, рабочий карьер, береза	12,84±0,47 6,57±0,64	-	19,45±2,72 5,70±4,02	102,97±0,83 136,84±1,49	273,88±4,68 278,21±6,83
ПП 2, рабочий карьер, сосна под пологом	15,09±1,1 6,20±0,60	4,25±3,68 -	39,79±6,84 7,82±3,59	107,49±1,83 75,49±0,84	382,52±11,51 65,74±4,91
ПП 3, рабочий карьер 2, береза	12,16±0,38 10,88±0,88	67,08±1,14 20,52±3,43	22,91±2,43 5,22±5,29	128,00±0,86 89,78±2,99	193,50±3,46 204,11±8,32
ПП 3, рабочий карьер, сосна	18,71±0,63 8,09±0,7	46,55±2,35 6,53±2,3	37,72±3,79 8,5±3,9	174,77±1,48 78,69±0,9	435,00±6,73 69,65±5,5
ПП 3, рабочий карьер, лиственница	13,38±0,70 3,86±0,59	28,80±2,49 -	16,19±4,04 4,34±3,69	95,92±1,06 56,53±0,74	215,72±6,20 286,21±6,27

Примечания. \* – микроэлементы на поверхности листьев и хвои; \*\* – содержание микроэлементов внутри листьев и хвои.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов на поверхности и внутри растительных образцов в березняках Емельяновского лесничества, мг/кг абс. сухой массы

Местоположение, порода	Микроэлементы				
	Ni	Cu	Cr	Zn	Sr
ПП 1, береза, листья	9,96±0,58* 8,7±0,68**	52,37±2,19 -	8,24±3,37 4,63±4,25	141,02±1,16 122,06±1,43	97,80±4,72 575,44±9,77
ПП 2, береза, листья	14,11±0,70 18,66±0,77	61,74±2,62 1,88±2,69	7,45±3,38 5,57±4,49	151,59±1,41 93,09±1,22	78,11±5,19 593,20±10,34
ПП 2, лиственница	14,60±0,72 3,14±0,59	70,21±2,78 -	15,69±3,99 3,73±3,68	144,22±1,41 24,51±0,54	154,71±5,86 711,54±9,75
ПП 3, сосна	19,76±0,63 7,31±0,61	34,05±2,20 -	29,50±3,65 3,37±3,52	101,96±0,96 47,66±0,66	143,81±5,12 65,51±4,73
ПП 3, береза, листья	15,16±1,00 19,13±0,57	65,19±3,82 -	15,61±5,54 5,40±3,84	150,42±2,03 113,74±1,02	88,87±7,64 370,82±60,4

Примечания. \* – микроэлементы на поверхности листьев и хвои; \*\* – содержание микроэлементов внутри листьев и хвои.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов на поверхности и внутри растительных образцов в березняках Юкеевского лесничества, мг/кг абс. сухой массы

Местоположение, порода	Микроэлементы				
	Ni	Cu	Cr	Zn	Sr
ПП 2, береза, листья	0,58±1,10* 3,34±0,45**	2,79±4,23 -	0,83±6,58 0,33±2,74	7,87±2,54 34,71±0,84	6,70±9,22 82,51±4,60
ПП 2, береза, ветки	0,45±0,58 1,08±0,44	3,01±2,73 -	0,73±3,41 2,45±2,81	16,01±4,25 31,27±0,78	9,92±7,51 24,70±3,88
ПП 3, береза, листья	0,48±0,70 1,93±0,40	2,87±3,67 -	0,50±3,67 0,43±2,41	12,25±7,06 14,36±0,49	7,57±9,33 15,18±3,25
ПП 3, береза, ветки	0,23±1,43 1,13±0,37	1,42±6,88 -	0,41±8,49 1,12±2,76	4,26±8,31 19,21±0,52	4,40±15,96 44,78±3,52
ПП 3, сосна	0,45±0,71	1,84±3,27	0,81±4,16	8,03±4,73	10,31±10,82

Примечание. \* – микроэлементы на поверхности листьев, веток и хвои; \*\* – содержание микроэлементов внутри листьев и хвои.



Рис. 1. Налеты тонкодисперсной пыли на листьях березы, произрастающей в зоне работающего карьера

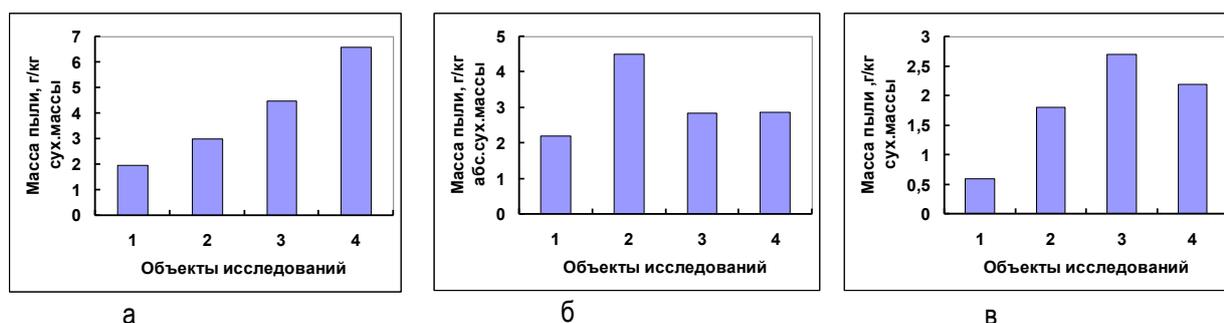


Рис.2. Накопление техногенной и природной пыли в березняках разнотравных, произрастающих в различных условиях: 1 – Юкеевское лесничество; 2 – Емельяновское лесничество; 3 – зона воздействия разрабатываемого известнякового карьера; 4 – зона воздействия карьера с золой; а – на листьях; б – на ветках; в – на хвое сосны

Содержание никеля на поверхности хвои и листья в зоне влияния известняковых карьеров варьирует от 12,16 до 47,33 мг/кг (табл.1). В зоне фоновых объектов в Емельяновском лесничестве содержание этого элемента изменяется от 9,96 до 33,23 мг/кг (табл.2), в Юкеевском лесничестве от 0,23 до 0,58 мг/кг абс. сухой массы (табл.3).

Накопления меди на поверхности ассимилирующих органов были отмечены по всем исследуемым объектам (табл. 1–3), тогда как проникновение меди внутрь листьев и хвои значительно меньше. В растительных образцах в зоне влияния известняковых карьеров содержание меди установлено в пределах от 4,25 до 80,86 мг/кг абс.сухой массы. В фоновых объектах Емельяновского лесничества меди содержится от 34,05 до 76,75 мг/кг и в Юкеевском лесничестве от 1,42 до 3,01 мг/кг абс. сухой массы.

Содержание хрома в зоне влияния известняковых карьеров изменяется почти в таких же пределах, что и никеля, – от 16,19 до 45,74 мг/кг абс. сухой массы. В Емельяновском лесничестве на поверхности листьев и хвои хрома содержится от 7,45 до 51,18 мг/кг и в Юкеевском лесничестве от 0,41 до 0,83 мг/кг абс. сухой массы.

Концентрация цинка в зоне влияния известняковых карьеров изменяется от 66,64 до 174,77 мг/кг сухой массы. В фоновых объектах цинк присутствует в следующих количествах: в Емельяновском лесничестве от 101,96 до 205,07 мг/кг, а в Юкеевском лесничестве – от 4,26 до 16,01 мг/кг абс. сухой массы.

Стронций на поверхности хвои и листьев содержится в максимальном количестве по сравнению с другими исследованными элементами по всем объектам исследования. Так, в зоне влияния карьеров содержание варьирует от 169,05 до 625,06 мг/кг абс. сухой массы. В условиях фона содержание хрома изменяется в Емельяновском лесничестве от 78,11 до 154,11 мг/кг, а в Юкеевском лесничестве от 4,40 до 10,31 мг/кг абс. сухой массы.

Накопление и вариабельность элементов на поверхности растительности в зоне влияния известняковых карьеров, цементного завода и ТЭЦ-2 происходят вследствие значительного их поступления с промышленных объектов. В условиях фона в березняках Юкеевского лесничества их содержание в основном зависит от поступления из почвы. В Емельяновском лесничестве завышенные количественные показатели накопления тяжелых металлов на поверхности объясняются близостью автомобильных магистралей с интенсивным движением. Как известно, в бензиновых выхлопах автотранспорта присутствует более 200 химических веществ, в том числе и тяжелые металлы [5–7].

В листьях березы повислой и хвое сосны обыкновенной в насаждениях в районе воздействия известнякового карьера были обнаружены максимальные величины содержания никеля, хрома и цинка (см. табл. 2).

Накопление меди в хвое и листьях в зоне влияния карьеров было выявлено в образцах листьев и хвои на пробных площадях 1 и 3 (см. табл.1). В контроле содержание этого элемента установлено только в листьях березы повислой на ПП 2 в березняках Емельяновского лесничества (см. табл.2). Неравномерность поглощения меди проявляется, вероятно, из-за очень сложных процессов взаимодействия микроэлементов, которые могут быть как антагонистическими, так и синергическими. Наибольшее число антагонистических

реакций наблюдается для Fe, Mn, Cu, и Zn, которые, очевидно [8], являются ключевыми элементами в физиологии растений.

Как показали результаты исследований, в растительных образцах присутствует значительное количество стронция по всем исследуемым объектам. Так, в зоне влияния известняковых карьеров содержание стронция варьирует от 65,74 до 667,35 мг/кг абс. сухой массы, в условиях фона Емельяновского лесничества – от 64,96 до 711,54 мг/кг, а в Юксеевском лесничестве от 15,18 до 82,51 мг/кг абс. сухой массы. Высокое содержание этого элемента можно объяснить значительным природным содержанием его в карбонатных породах биогехимических провинций региона [9] и наличием в окрестностях г. Красноярска 64 геохимических аномалий [10].

**Выводы.** Таким образом, в результате исследований и анализа количественных характеристик аккумуляции пыли и тяжелых металлов выявлены общие и отличительные черты процесса их седиментации и накопления в вегетативных органах березы и сосны, произрастающих под влиянием известняковых карьеров, в сравнении с фоновыми условиями.

Так, в березняках разнотравных в зоне влияния карьера содержание пыли и тяжелых металлов значительно больше на поверхности листьев и хвои, чем в фоновых насаждениях. Особенности аккумуляции тяжелых металлов физиологически активными органами березы повислой и сосны обыкновенной обусловлены спецификой экологических условий произрастания березняков разнотравных в Красноярской лесостепи.

### Литература

1. *Зубарева О.Н., Скрипальщикова Л.Н., Перевозникова В.Д.* Аккумуляция пыли компонентами березовых фитоценозов в зоне воздействия известняковых карьеров // *Экология*. – 1999. – № 5. – С. 339–343.
2. Санитарные правила в лесах Российской Федерации / Введены 27.01.98. – №1458. – М., 1998.
3. *Детри Ж.* Атмосфера должна быть чистой. – М.: Прогресс, 1973. – 380 с.
4. *Комиссаренков А.А., Андреев С.Б.* Рентгенофлуоресцентный метод анализа: методические указания к лабораторным работам / ГОУ ВПО СПб ГТУ РП. – 2008. – 36 с.
5. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие / под ред. *О.П. Мелехова и Е.И. Егоровой*. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
6. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2009 году». – Красноярск, 2010. – 232 с.
7. *Дурнев В.Ф.* Оценка состояния загрязнения атмосферного воздуха в Красноярске // *Природные ресурсы Сибири: современное состояние и проблемы природопользования*. – Новосибирск: Наука, 2010. – С. 156–167.
8. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
9. Вредные химические вещества / *А.Л. Бандман* [и др.]. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.
10. *Ерышева О.В.* Загрязнение почв и растительного покрова тяжелыми металлами в окрестностях Красноярска // *Непрерывное экологическое образование и экологические проблемы: сб. ст. по мат-лам Всерос. науч.-практ. конф. Т.2.* – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2004. – С.169–174.

