

---

---

*Н. В. Крутских, Н. Б. Лаврова*

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ г. ПЕТРОЗАВОДСКА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПАЛИНОИНДИКАЦИИ**

Растительность активно реагирует на изменения главных природных компонентов своего окружения. Из почвы и атмосферного воздуха различные загрязняющие вещества проникают в растительные организмы, где и оказывают, как правило, свое негативное влияние как на физиологические, так и на генетические процессы. Состояние репродуктивной системы – чувствительный показатель адаптации растительного организма к среде обитания. В условиях дестабилизации среды растения продуцируют много тератоморфных и стерильных пыльцевых зерен. Чем хуже экологическая обстановка, тем больше дефектной и стерильной пыльцы продуцируется растениями. По этому показателю можно давать сравнительную оценку загрязненности разных регионов и отдельных зон в пределах региона. Пыльца растений служит также для установления экологической опасности для генеративной сферы человека и животных. Как показали исследования, гаметопагогенный риск в условиях экологического неблагополучия существует не только для растений, но и для животных и человека, при этом растения раньше, чем животные, реагируют на смену условий среды обитания (Дзюба, 2006).

Следует отметить, что наибольшую экологическую нагрузку испытывают дети, составляющие группу экологического риска. Детские игровые площадки – важнейшие места активного отдыха детей, поэтому большое внимание должно уделяться этим объектам. Детских площадок в городе достаточно много, однако исследования по экологической безопасности их почти не проводились.

### **Материалы и методы**

Геохимическое опробование почв и техногенных грунтов г. Петрозаводска проводилось с учетом ландшафтной ситуации и функциональных зон по пяти профилям, протягивающимся в субширотном направлении и расположенным вдоль линий стока. Дополнительно были взяты пробы в пределах территорий некоторых детских садов города.

Для определения фоновых значений химических элементов в грунтах отобраны пробы восточнее пос. Ужесельга, в 100–150 м от Онежского озера. Выбор

данного участка обусловлен тем, что при сходных природных условиях формирования эколого-геологической обстановки здесь отсутствует влияние техногенной нагрузки на компоненты природной среды.

Аналитические работы по определению содержания тяжелых металлов в почвах и грунтах выполнены методом полуколичественного спектрального анализа в аналитической лаборатории Института геологии Карельского научного центра РАН.

Для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами используется несколько подходов:

- индикация загрязнения относительно фоновых значений. При этом применяется коэффициент концентрации (Кс), показывающий, во сколько раз содержание элемента в городских почвах выше его содержания в фоновых почвах. Коэффициент Кс отражает интенсивность загрязнения, но не указывает непосредственно на его опасность;

- индикация загрязнения относительно предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) элементов, установленных экспериментально. Данный метод используется для экологической и санитарно-гигиенической оценки загрязнения почв. По М. А. Глазовской (1988), предельно допустимое загрязнение почв – это тот уровень, при котором начинает изменяться оптимальное количество и качество создаваемого живого вещества, т. е. биологическая продукция.

Для проведения биоиндикационных исследований параллельно с отбором проб почв в начале цветения были собраны мужские соцветия березы пушистой, произрастающей в пределах некоторых детских игровых площадках или в непосредственной близости от них, и зафиксированы в пробирках с раствором Карнуа (6 частей этилового спирта : 3 части формалина : 1 часть ледяной уксусной кислоты). Материал помещался в холодильник и хранился в растворе Карнуа до проведения теста. Мужские соцветия отбирали на высоте примерно 1,5 м с 3–4 стоящих рядом деревьев для формирования образца пыльцы данного участка. Тест на определение стерильной/фертильной пыльцы проводился по ацетокарминовой методике (Паушева, 1974).

Ацетокарминовый метод основан на дифференциальной окраске фертильных и стерильных пыльце-

вых зерен. Внутреннее содержимое фертильных пыльцевых зерен после обработки ацетокармином полностью и равномерно окрашивается в яркий малиновый или темно-красный цвет. Стерильные зерна не окрашиваются совершенно или их внутреннее содержимое окрашивается неравномерно. Изучалось 2000–2500 образцов каждой пробы. Количественные показатели исследуемых объектов определялись как частота встречаемости стерильных или фертильных пыльцевых зерен, выражаемая в процентах от общего количества исследуемой пылицы.

### Результаты исследования

В пределах г. Петрозаводска выявлены несколько основных элементов-загрязнителей, различных классов опасности, превышающих ПДК, ОДК и фоновые значения. Среди них: Pb, Zn (1 класс опасности), Cu (2 класс опасности), V, Mn (3 класс опасности).

Свинец является наиболее распространенным элементом-загрязнителем. Основным техногенным источником свинца в окружающей среде – выхлопы автомобильных двигателей. Также загрязнение свинцом происходит при сжигании топлива (уголь, мазут, природный газ). Свинец не является жизненно необходимым элементом. Он токсичен и относится к I классу опасности. Избыток свинца в растениях, связанный с высокой его концентрацией в почве, ингибирует дыхание и подавляет процесс фотосинтеза,

иногда приводит к увеличению содержания кадмия и снижению поступления цинка, кальция, фосфора, серы. В организм человека свинец в основном поступает через пищеварительный тракт. При токсичных дозах элемент накапливается в почках, печени, селезенке и костных тканях. При свинцовом токсикозе поражаются в первую очередь органы кроветворения (анемия), нервная система (энцефалопатия и нейропатия) и почки (нефропатия). Наиболее восприимчива к свинцу гематопозитическая система, особенно у детей (Убугунов, Кашин, 2004).

В целом территорию г. Петрозаводска можно характеризовать как слабозагрязненную (рис. 1). Допустимые значения концентрации Pb в почвах определены в 80% точек. Однако в большинстве случаев наблюдается превышение фоновых концентраций. По значениям  $K_{\text{одк}}$  выявлено несколько зон, отличающихся высоким уровнем загрязнения. Так, в промышленной зоне на ул. Новосулажгорской концентрация свинца превышает ОДК в 14 раз. Также очень высокие значения  $K_{\text{одк}}$  зафиксированы в районах железнодорожного вокзала, станкостроительного завода, по берегу Онежского озера в пределах ул. Ригачина ( $K_{\text{одк}} > 3$ ). Высокие уровни загрязнения почвенного покрова Pb наблюдаются в центральной части города, что объясняется значительным количеством автомобильного транспорта в пределах данной территории. Наименьшие показатели  $K_{\text{одк}}$  по Pb отмечены в рекреационных зонах.

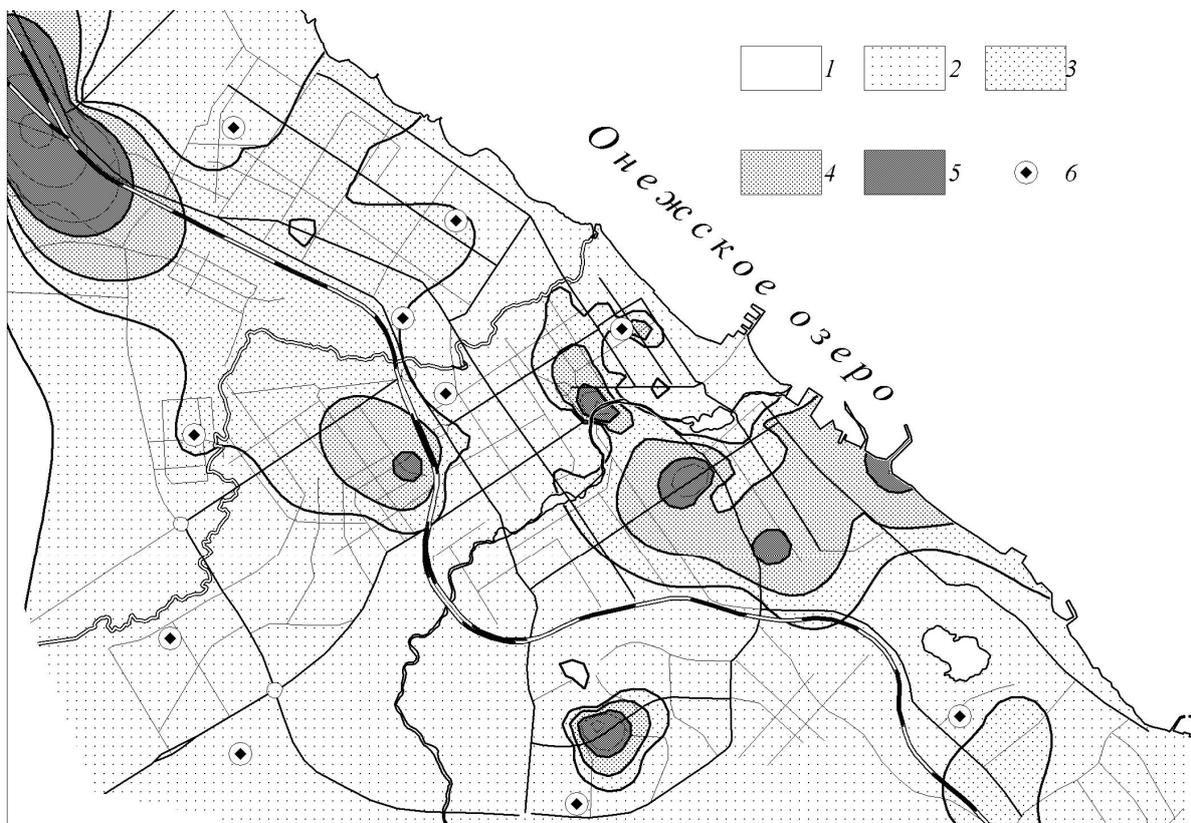


Рис. 1. Схема загрязнения г. Петрозаводска свинцом:

уровни загрязнения: 1 – минимальный ( $K_{\text{одк}} < 1$ ); 2 – низкий ( $1 < K_{\text{одк}} < 1,5$ ); 3 – средний ( $1,5 < K_{\text{одк}} < 2$ ); 4 – высокий ( $2 < K_{\text{одк}} < 3$ ); 5 – очень высокий ( $3 < K_{\text{одк}}$ ); 6 – точки отбора соцветий березы

Основными антропогенными источниками поступления цинка являются металлургические предприятия. Физиологическое воздействие цинка заключается в действии его как активатора ферментов. В организмах животных и человека цинк оказывает влияние на деление и дыхание клеток, развитие скелета, формирование мозга и поведенческих рефлексов, заживление ран, воспроизводительную функцию, иммунный ответ, взаимодействует с инсулином. При дефиците элемента возникает ряд кожных заболеваний. В растениях цинк регулирует рост, влияет на образование аминокислоты триптофана. Цинк необходим для развития как мужского гаметофита, так и зародыша (в его отсутствие не образуются семена).

Цинк относится к малотоксичным элементам. Тем не менее он становится токсичным, если попадает в организм в избытке. У человека он вызывает тошноту, рвоту, дыхательную недостаточность, фиброз легких, является канцерогеном (Убугунов, Кашин, 2004). Большинство видов растений обладают высокой толерантностью к его избытку в почвах. Однако при очень высоком содержании этого металла в почвах обычным симптомом цинкового токсикоза является хлороз молодых листьев.

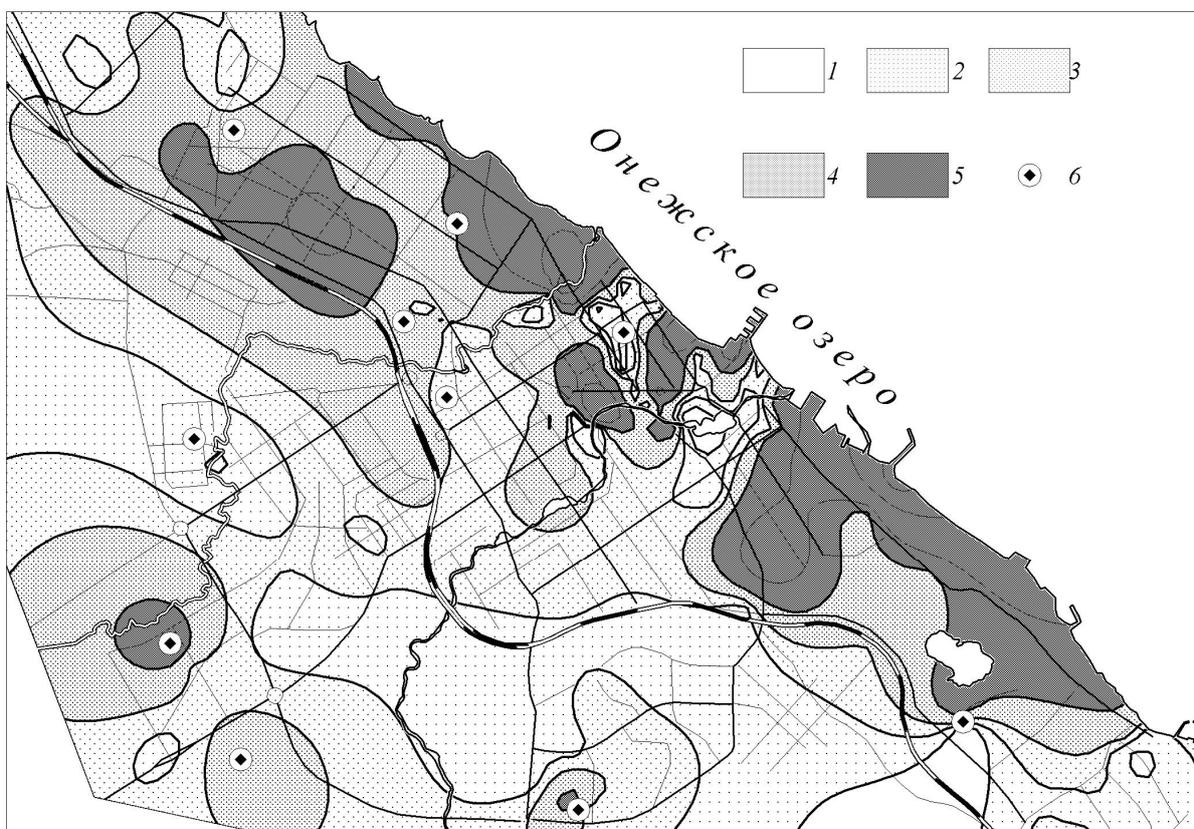
В пределах изучаемой территории значительная часть проб характеризуется высоким и очень высоким уровнем загрязнения по Zn (ОДК > 3). Территориально они расположены в селитебной зоне в пределах ул. Мурманской, в центральной части города (ул. К. Мар-

кса, пр. Ленина), а также у ж/д полотна на ул. Правда и берега Онежского озера в районе ул. Чернышевского. Низкий уровень загрязнения характерен для проб, отобранных в зонах с низкой транспортной нагрузкой и рекреационных зонах. Одной из причин накопления цинка в поверхностных почвенных горизонтах является его способность сорбироваться минеральными и органическими компонентами с образованием устойчивых соединений.

Содержание меди в почвах г. Петрозаводска варьирует от 15 до 220 мг/кг. При этом более 40% проб превышают значения ОДК. К наиболее загрязненным относятся пробы, взятые у берега Онежского озера в районе ул. Чернышевского ( $K_{\text{одк}} = 6,7$ ), а также на пересечении ул. Ключевой и ул. Корабелов ( $K_{\text{одк}} = 4,5$ ). Основными техногенными источниками меди для г. Петрозаводска являются автотранспорт и стационарные источники сжигания топлива.

Высокие концентрации свинца в городских почвах определяет его транспортный генезис, причем максимальные концентрации тяготеют к главным автомагистралям города. Большие содержания цинка, меди отражают влияние выбросов котельных, ТЭЦ и промышленных предприятий.

Содержание марганца в более 50% проб превышает фоновые значения, при этом превышение ПДК наблюдается в 2 пробах, расположенных на пересечении ул. Дрельянка и ул. Березовая аллея и у ж/д полотна на ул. Правда ( $K_{\text{пдк}} = 1,5$ ). Природное содержание



**Рис. 2. Схема загрязнения г. Петрозаводска цинком:**

уровни загрязнения: 1 – минимальный ( $K_{\text{одк}} < 1$ ); 2 – низкий ( $1 < K_{\text{одк}} < 1,5$ ); 3 – средний ( $1,5 < K_{\text{одк}} < 2$ ); 4 – высокий ( $2 < K_{\text{одк}} < 3$ ); 5 – очень высокий ( $3 < K_{\text{одк}}$ ); 6 – точки отбора проб березы

марганца (Mn) в растениях, животных и почвах очень высоко. Основные области производства марганца – производство легированных сталей, сплавов, электрических батарей и других химических источников тока. Марганец относится к III классу опасности.

Превышение ПДК по ванадию наблюдается лишь в одной пробе, расположенной в пределах промзоны на ул. Новосулажгорской ( $K_{\text{пдк}} = 1,5$ ). Однако в более 60% проб содержание V выше фоновых значений, что говорит о загрязнении почвенного покрова города данным элементом.

Результаты проведенного исследования позволили оценить уровень фертильности пыльцы березы пушистой (*Betula pubescens*) (табл.) и сравнить полученные данные с результатами анализа загрязнения почв тяжелыми металлами.

Ранее качественные характеристики пыльцы *Betula pubescens* изучались Н. А. Елькиной (2008) с целью проведения сравнительного анализа качества пыльцы березы из разных районов города. Отметим, что в пробах, отобранных нами с детских игровых площадок при детских объединениях, количество фертильной пыльцы не имеет значений ниже 80%, тогда как доля фертильной пыльцы из разных районов города варьирует от 46 до 92%. По данным Н. А. Елькиной, наименьшее количество фертильной пыльцы наблюдается в образцах из районов, в которых расположены самые крупные действующие промышленные предприятия города или проходят оживленные автомобильные трассы и железная дорога: район пр. Октябрьский, верхняя часть пр. Чапаева, Ключевское шоссе, ул. Судостроительная, Комсомольский проспект. Самое низкое качество пыльцы в Петрозаводске обнаружено в пробе, взятой в районе ЗАО «Петрозаводскмаш» и ООО «Севербуммаш», наиболее крупных из действующих на территории города предприятий. Кроме того, в данном районе отмечается высокая интенсивность автомобильного движения. В пробах пыльцы из районов, расположенных вблизи пр. Ленина, ул. Гоголя, Лососинского шоссе, количество фертильных пыльцевых зерен было выше. В районе Зареки и пос. Соломенное количество фертильной пыльцы превышает 90% и близко к контрольному образцу из экологически благоприятного района оз. Сямозеро, где наиболее высокое содержание фертильной пыльцы – около 95% (Елькина, 2008). На

фоне такого большого разброса в данных значения фертильной/стерильной пыльцы, полученные в результате наших исследований, имеют весьма близкий, «сглаженный» характер. Это обусловлено разным подходом к отбору проб: Н. А. Елькиной все пробы пыльцы были отобраны с территорий, находящихся в непосредственной близости от автомобильных дорог, нами же собиралась пыльца с деревьев, расположенных в пределах территории или вблизи детских площадок, каковые расположены, как правило, в глубине кварталов.

Тем не менее даже при столь близких значениях качества пыльцы (табл.) можно отметить некоторое различие: наименьшее количество фертильной пыльцы обнаружено вблизи детских площадок, расположенных в районах Перевалки (ул. Зеленая), ул. Калевалы (район вблизи завода «Петрозаводскмаш»), районе Ключевая – до 85%, несколько больше – Сегежская, Железнодорожная, Шотмана, Кирова – до 88%. Наиболее высокое качество пыльцы – вблизи детских площадок на ул. Сыктывкарской, ул. Интернационалистов (Древлянка) и Октябрьском проспекте (район ул. Московской).

В целом полученные результаты совпадают с данными Н. А. Елькиной (2008). Из этого ряда выпадает проба, собранная с деревьев, произрастающих вблизи детской площадки ДО № 107 (район ул. Московской), которая характеризуется высоким содержанием фертильной пыльцы. По всей вероятности, как мы уже говорили, это связано с методикой отбора проб. Интересно отметить, что в пробах, отобранных с деревьев, произрастающих на территории детских площадок на ул. Железнодорожной и ул. Шотмана, расположенных достаточно близко от железной дороги, фертильность пыльцы довольно высока и составляет 89,4% и 87,7% соответственно. Возможно, это связано с тем, что площадки находятся в глубине квартала, что предотвращает воздействие доступных для организмов форм тяжелых металлов.

Некоторое недоумение вызывает незначительное содержание стерильной пыльцы в пробе, отобранной с деревьев, произрастающих около детского сада на ул. Кирова, игровая площадка которого отделена от проезжей части лишь тротуаром. По современным нормам строительства детские игровые площадки должны располагаться от дороги на расстоянии не менее 15 м. Только это условие обеспечивает их минимальную запыленность и химическое загрязнение. Тем не менее

#### Показатели качества пыльцы *Betula pubescens*, произрастающих вблизи игровых площадок детских дошкольных учреждений

	Количество исследованных пыльцевых зерен	Количество фертильных пыльцевых зерен	Количество стерильных пыльцевых зерен	Содержание фертильных пыльцевых зерен в %
ул. Зеленая, № 110	2759	2300	459	83,4
ул. Калевалы, № 104	2386	2000	386	85,6
пр. Октябрьский, № 107	2165	2000	165	92,4
ул. Сегежская, № 115	2477	2200	277	88,8
ул. Сусанина, № 35	2482	2100	381	84,6
ул. Сыктывкарская, № 108	2158	2000	158	92,7
ул. Интернационалистов, № 118	2126	2000	126	94,1
ул. Кирова	2482	2200	282	88,6
ул. Железнодорожная, № 34	2238	2000	238	89,4
ул. Шотмана, № 93	2281	2000	281	87,7
ул. Сортавальская, № 99	2183	2000	183	91,6

количество фертильной пыльцы в пробах с этой детской площадки достаточно высоко – 88,6%, что, вероятно, обусловлено удаленностью от действующих промышленных предприятий.

Наиболее опасным источником загрязнения атмосферы являются промышленные предприятия и автомобильный транспорт. Присутствие большей части железа, цинка, меди и свинца в верхнем слое городских почв обусловлено аэрозольными выпадениями (Тютюнник, 1997), а повышенное содержание цинка, никеля, хрома, меди и свинца в почве придорожных зон является следствием высокой эмиссии выбросов автотранспорта (Ибрагимова, Баличиева, 2006). Известно, что тяжелые металлы в воздухе и в почвах токсически действуют на растения. Представляется весьма интересным сравнить данные по качеству пыльцы и геохимическому анализу почв.

В связи с этим проведен корреляционный анализ между содержанием тяжелых металлов в почвах и стерильностью пыльцы, с помощью которого устанавливается, как изменяются значения одного признака при изменении другого. В ходе исследований получены следующие значения коэффициентов линейной корреляции (уровень значимости при 95% вероятности – 0,6):

	Mn	V	Pb	Zn	Cu	Co
Стерильность	0,06	0,37	0,31	-0,80	0,03	0,09

Наибольшая значимая связь наблюдается между стерильностью пыльцы и содержанием цинка в почвах. Эта связь является отрицательной, т. е. при увеличении концентрации цинка значения стерильности уменьшаются. Эти данные объясняются тем, что цинк является важнейшим элементом при образовании фертильной пыльцы. Однако значительное превышение концентраций цинка в компонентах природной среды становится токсичным для живой природы и негативно сказывается на других функциях живых организмов.

Прямые положительные корреляционные связи выявлены между стерильностью пыльцы и содержанием свинца в почвенном горизонте. Однако теснота связи для этих двух признаков является менее значимой и составляет 0,31. Это обусловлено тем, что между стерильностью пыльцы и концентрацией свинца в почве имеется умеренная связь, но качество пыльцы определяет и множество других факторов, например, аэротехноген-

ные загрязнения. Так, например, проба из детского объединения № 104 (ул. Калевалы), расположенного в зоне с минимальным уровнем загрязнения свинцом, характеризуется более низким содержанием фертильной пыльцы, чем пробы из зон с повышенным уровнем загрязнения свинцом (рис. 1). Вполне вероятно, данное обстоятельство связано с тем, что детское объединение № 104 находится в зоне воздействия вредных выбросов предприятия «Петрозаводскмаш».

Отметим, что аналогичная умеренная связь наблюдается и для содержания ванадия в почвах, в этом случае коэффициент парной корреляции составляет 0,37, тогда как для других элементов корреляционные связи отсутствуют.

## Заключение

1. Растительность является одним из основных индикаторов негативных преобразований в приземном слое атмосферы и почвенном покрове. Это обусловлено тем, что значительную долю всех поступающих веществ растения получают из приповерхностной части литосферы.

2. Уровень загрязнения городских почв некоторыми тяжелыми металлами отражается на состоянии компонентов экосистем. Выявленные корреляционные зависимости между содержанием химических элементов в почвах и состоянием растительного покрова подтверждают такую взаимосвязь.

3. В протестированных нами пробах значения фертильной пыльцы колеблются в пределах от 83,4 до 94,1%, тогда как контрольная проба, отобранная в экологически чистом районе, содержит 94,9% фертильной пыльцы (Елькина, 1998). Отклонения не столь значительные, но, тем не менее, они существуют. Большинство игровых площадок детских учреждений расположены в пределах кварталов, и, таким образом, почва, как правило, защищена зданиями от вредных выбросов автотранспорта, проходящего по оживленным автомагистралям. Загрязнение почв здесь обусловлено выбросами автотранспорта, сосредоточенного на дворовых стоянках, и аэрозольным загрязнением. Для уменьшения вредного воздействия загрязняющих веществ целесообразно окружать детские игровые площадки зелеными насаждениями, выполняющими важнейшие средозащитные и средообразующие функции.

## ЛИТЕРАТУРА

Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М., 1988. 328 с.  
 Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб., 2006. 198 с.  
 Елькина Н. А. Состав и динамика пыльцевого спектра воздушной среды г. Петрозаводска: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 2008.  
 Ибрагимова Э. Э., Баличиева Д. В. Влияние техногенного стресса на жизнеспособность пыльцы и семян *Acer platanoides* // Ученые записки Таврического национального

университета им. В. И. Вернадского, сер. «Биология, химия». 2006. Т. 19 (58), № 2. С. 4–28.  
 Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М., 1974. 287 с.  
 Тютюнник Ю. Г. Зависимость содержания тяжелых металлов в урбаногемах от уровня загрязнения атмосферного воздуха // География и природные ресурсы. 1997. № 2. С. 63–67.  
 Убузунов В. Л., Кашин В. К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. Улан-Удэ, 2004. 128 с.