

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ г. ПЕТРОЗАВОДСКА

И. И. Косинова, Н. В. Крутских\*, Н. Б. Лаврова\*

*Воронежский государственный университет*

*\*Институт геологии Карельского научного центра*

*Поступила в редакцию 25 августа 2011 г.*

**Аннотация.** В статье представлены результаты эколого-геологических исследований приповерхностных отложений в пределах территории г. Петрозаводска. Дана экологическая оценка их состояния по степени загрязнения тяжелыми металлами, выделены ведущие элементы-загрязнители. Проанализированы корреляционные связи между отдельными компонентами эколого-геологической системы урбанизированной территории.

**Ключевые слова:** приповерхностные отложения, загрязнение, эколого-геохимическая оценка, корреляционные взаимосвязи, эколого-геологическая система.

**Abstract.** The article presents the results of ecological and geological researches of the subsurface sedimentations within the territory of the city Petrozavodsk. The ecological assessment of their condition on pollution degree by heavy metals is presented, leading elements-pollutants are identified. Correlations between the components of the ecological-geological system of the urban area are analyzed.

**Key words:** subsurface sediments, pollution, ecological-geochemical assessment, correlations, ecological-geological system

### Введение

Урбанизированные территории городов характеризуются показателями состояния природной среды значимо отличающимися от естественных. Можно утверждать, что это участки, характеризующиеся собственными структурными особенностями и закономерностями развития в пространстве и времени.

Город Петрозаводск расположен на юго-восточной окраине Балтийского кристаллического щита, к северу от Олонецкой возвышенности и Шокшинской гряды и приурочен к озерным террасам Петрозаводской губы Онежского озера.

Эколого-геологическая система территории города представлена взаимосвязанными абиотическими и биотическими компонентами. Первые включают почвы, приповерхностные отложения, подземные воды, донные отложения, геофизические поля. Биотические компоненты ЭГС представлены растительностью, которая является базовой ступенью экологической пирамиды [1]. В работе представлен комплексный анализ состояния отдельных компонентов эколого-геологической системы территории г. Петрозаводска, определены

корреляционные взаимосвязи между абиотическими и биотическими компонентами.

В связи с техногенным воздействием почвенный покров города в значительной мере изменен и представляет собой следующие морфологические типы почв: конструктороземы – насыпные почвоподобные субстраты, урбаноземы – почвы, переработанные в результате механических и химических нарушений, культуроземы и нарушенные урбоподзолистые – почвы с большой мощностью гумусового горизонта, агроподзолистые – почвы огородов [2]. Город является областью контакта почвенно-ландшафтных зон: в центральной части г. Петрозаводска развиты преимущественно подзолистые почвы от песчано-супесчаного до среднесуглинистого гранулометрического состава; правобережная часть р. Лососинки и левобережная часть р. Неглинки сложены торфяными и торфяно-глеевыми почвами на глинах и суглинках.

Территория города находится в пределах полупогребенной тектонической депрессии, которая ограничена с юга поднятием фундамента (обнажения в карьере Каменный Бор) и с севера грядой суйсарских основных вулканитов. Геоморфологически город приурочен к холмистым моренным и озерно-ледниковым равнинам с общим понижением в сторону Онежского озера. В целом преобла-

дает трансаккумулятивный тип ландшафта. Элювиальные-трансэлювиальные типы ландшафта выделены в пределах микрорайонов Куковка, Древланка, западной части Перевалки, водоразделов рек

Неглинка и Лососинка, район ТЭЦ. К трансупераквальным ландшафтам относятся поймы рек Неглинка и Лососинка, прибрежная часть Онежского озера (рис. 1).

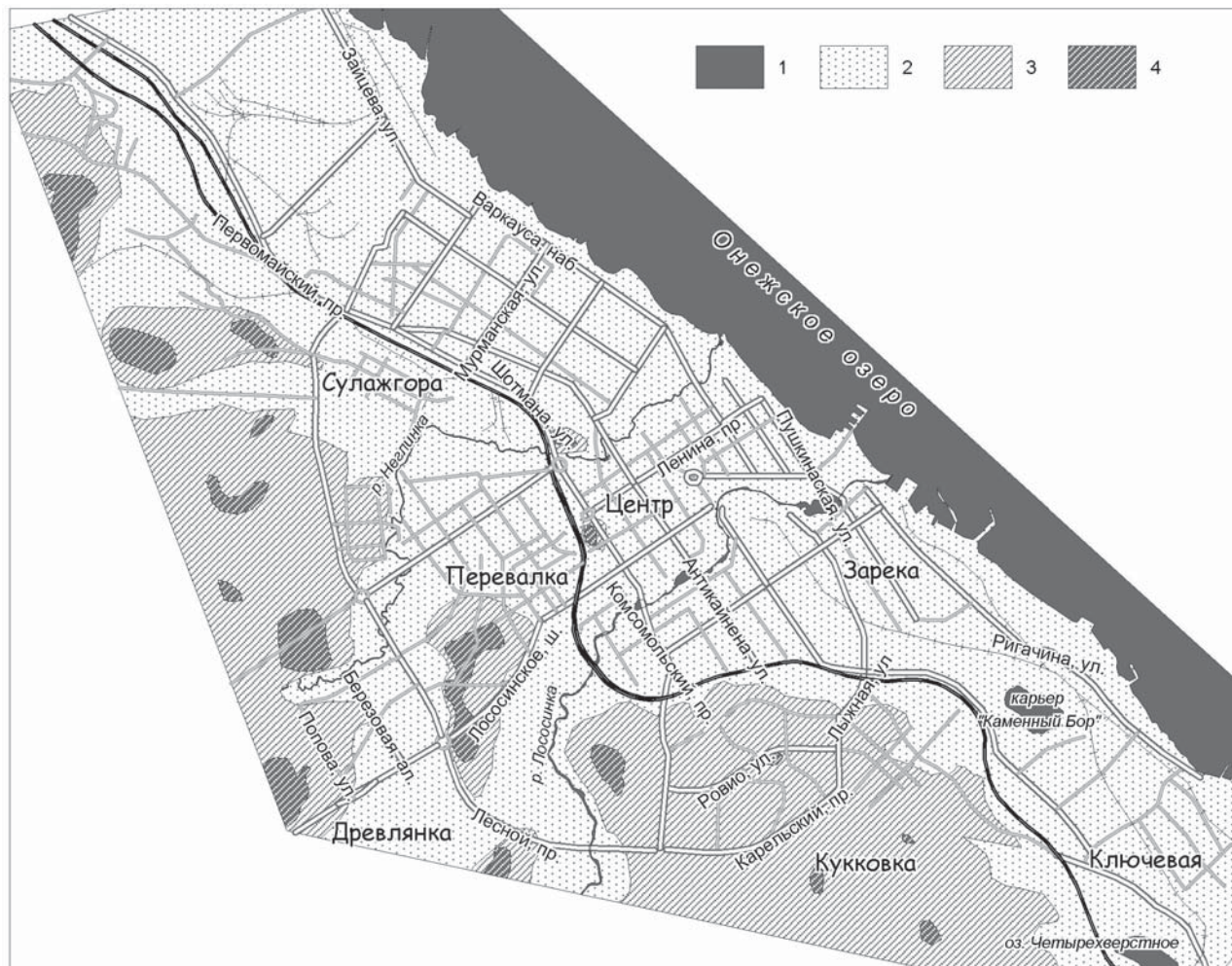


Рис. 1. Схема ландшафтов г. Петрозаводска: 1 – трансупераквальные (ложина долины, болота, реки), 2 – трансаккумулятивный (нижние части склонов), 3 и 4 – совмещенные элювиальные–трансэлювиальные (водоразделы и верхние части склонов)

В пределах г. Петрозаводска хозяйственно-питьевое водоснабжение осуществляется из Петрозаводской губы Онежского озера. Подземные воды трещинного типа залегают преимущественно в коренных породах. Петрозаводск с трех сторон окружен среднетаежными еловыми и сосновыми лесами и имеет довольно развитые рекреационные зоны. Парки, скверы и уличные насаждения занимают около 400 га. В некоторых парках насчитывается более сорока видов древесных растений. Среди них присутствуют ценные породы различных флористических областей, например ясень пенсильванский, снежноягодник белый (американские виды), дуб черешчатый, клен остролистный

(европейские виды) и др. На территории города сохранились участки хвойного леса.

Целью настоящих исследований является эколого-геохимическая оценка урбанизированной территории на примере г. Петрозаводска.

Эколого-геологическая съемка включала оценку состояния почв и приповерхностных отложений и палинологический анализ пылицы древесной растительности (*Betula pubescens*)

#### Методика

Геохимическое обследование почв и техногенных грунтов г. Петрозаводска проводилось по пяти профилям, протягивающимся в субширотном направлении (n = 46). Дополнительно были взяты

пробы в пределах территорий некоторых детских садов города ( $n = 30$ ). По данным опробования в аналитической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН проведен полуколичественный спектральный анализ. Для 8 проб из детских учреждений проведен химический анализ методом ICP-MS. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами проводилась относительно фоновых значений, ПДК и ОДК по методике ИМГРЭ, отражающей несколько уровней загрязнения [3] (табл. 1)

Таблица 1  
Уровни загрязнения почв химическими элементами

Уровень загрязнения	Ко* для 1 класса опасности	Ко для 2 класса опасности	Ко для 3–4 класса опасности
Минимальный	< 1	< 1	< 1
Низкий	1–1,5	1–2	1–3
Средний	1,5–2	2–3	3–5
Высокий	2–3	3–5	5–10
Очень высокий	> 3	> 5	> 10

*Примечание.*\* Ко – коэффициент опасности, представляющий собой отношение концентрации элемента к ПДК, ОДК.

Состояние репродуктивной системы – чувствительный показатель адаптации растительного организма к среде обитания. В условиях дестабилизации среды растения продуцируют много тератоморфных и стерильных пыльцевых зерен. Благодаря этому можно давать оценку состояния среды в пределах селитебных районов и регионов в целом. В условиях экологического неблагополучия гаметопазогенный риск существует не только для растений, но и для животных и человека, при этом растения раньше, чем животные реагируют на смену условий среды обитания [4]. Для растений гаметопазогенный риск определяется падением количества фертильной пыльцы на 10–15 % относительно контрольной пробы.

Следует отметить, что дети испытывают наибольшую экологическую нагрузку и относятся к группе экологического риска. Детские игровые площадки – важнейшие места активного отдыха детей, поэтому большое внимание должно уделяться этим объектам. Детских площадок в г. Петрозаводске достаточно много, однако исследования их экологической безопасности эпизодичны.

Для проведения биоиндикационных исследований параллельно с отбором проб почв в начале цветения были собраны мужские соцветия березы пушистой, произрастающей в пределах детских игровых площадок или в непосредственной бли-

зости от них. Пробы были зафиксированы в пробирках с раствором Карнуа (6 частей этилового спирта: три 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 (приповерхностный слой атмосферы) с 3–4 стоящих рядом деревьев для формирования образца пыльцы данного участка. Тест на определение стерильной/фертильной пыльцы проводился по ацетокарминовой методике [5].

Ацетокарминовый метод основан на дифференциальной окраске фертильных и стерильных пыльцевых 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 исследуемых пыльцы.

### Полученные результаты

В пределах г. Петрозаводска выявлены несколько основных элементов-загрязнителей почв и грунтов, превышающих ПДК, ОДК и фоновые значения. Среди них: Pb, Zn (1 класс опасности), Cu (2 класс опасности). Происхождение данных элементов – комплексное: частично это продукт аккумуляции тяжелых металлов в морене и озерноледниковых отложениях, слагающих осадочную толщу разреза; частично – результат антропогенного воздействия. Свинец является наиболее распространенным элементом загрязнителем. Загрязнение свинцом происходит при сжигании топлива (уголь, мазут, природный газ). До 1998 г. основным техногенным источником свинца в окружающей среде являлись выхлопы автомобильных двигателей. В связи запретом на применение свинца в качестве присадок к топливу этот источник рассматривается как реликтовый. Свинец не является жизненно необходимым элементом. Он токсичен и относится к I классу опасности. Избыток свинца в растениях, связанный с его высокой концентрацией в почве, ингибирует дыхание и подавляет процесс фотосинтеза, иногда приводит к увеличению содержания кадмия и снижению поступления цинка, кальция, фосфора, серы.

В целом по свинцу территорию города Петрозаводска можно характеризовать как слабозагрязненную (рис. 2). Около 80 % точек характеризуются допустимыми значениями концентрации Pb в почвах. Однако в большинстве случаев наблюдается превышение фоновых концентраций. По значениям  $K_{\text{одк}}$  выявлено несколько точек, отличающихся высоким уровнем загрязнения. Так в промышленной зоне в северо-западной части города концентрации свинца превышает ОДК в

14 раз. Также высокие значения  $K_{\text{одк}}$  зафиксированы в районах железнодорожного вокзала, станкостроительного завода, по берегу Онежского озера ( $K_{\text{одк}} > 3$ ). Высокие уровни загрязнения почвенного покрова Pb наблюдаются в центральной части города, что объясняется длительным накоплением и значительной транспортной нагрузкой в пределах данной территории. Наименьшие показатели  $K_{\text{одк}}$  по Pb отмечены в рекреационных зонах.



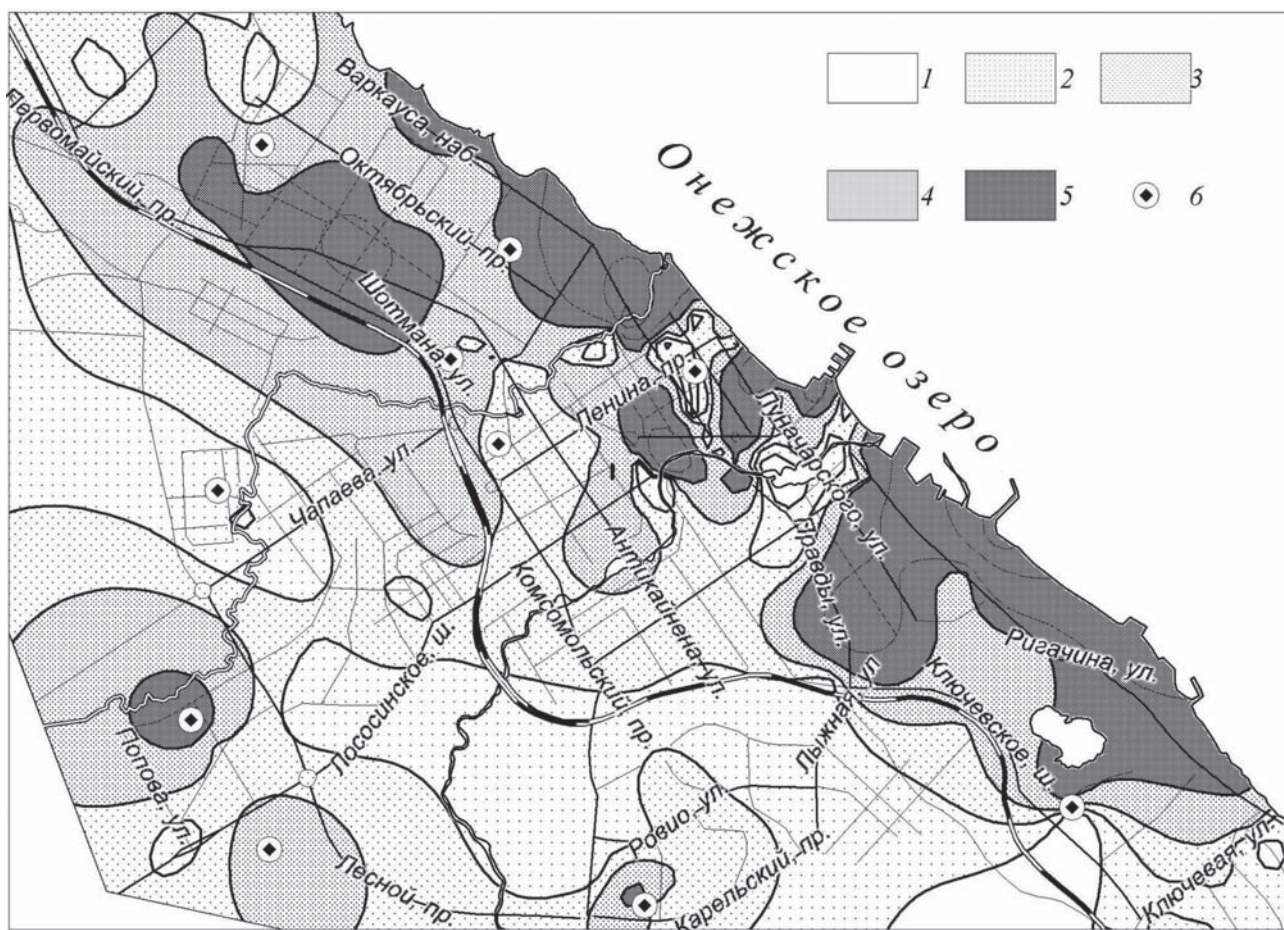
Рис. 2. Схема загрязнения почв свинцом. Уровни загрязнения: 1 – минимальный ( $K_{\text{одк}} < 1$ ), 2 – низкий ( $1 < K_{\text{одк}} < 1,5$ ), 3 – средний ( $1,5 < K_{\text{одк}} < 2$ ), 4 – высокий ( $2 < K_{\text{одк}} < 3$ ), 5 – очень высокий ( $3 < K_{\text{одк}}$ ); 6 – точки отбора соцветий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

Основными антропогенными источниками поступления цинка (Zn) являются металлургические предприятия. В центральной части города до двухтысячных годов действовала площадка Онежского тракторного завода, имеющая литейное производство, которое является антропогенным источником поступления элемента в ЭГС. В организмах животных и человека цинк оказывает влияние на деление и дыхание клеток, развитие скелета, формирование мозга, заживление ран, воспроизводительную функцию, иммунный ответ,

взаимодействует с инсулином. При дефиците элемента возникает ряд кожных заболеваний. В растениях цинк регулирует рост. Цинк необходим для развития, как мужского гаметофита, так и зародыша (в его отсутствии не образуются семена). Эколого-геохимические аномалии избытка цинка формируют токсикологический эффект. Большинство видов растений обладают высокой толерантностью к его избытку в почвах. Однако при очень высоком содержании этого металла в почвах обычным симптомом цинкового токсикоза явля-

ется хлороз молодых листьев [6]. В пределах изучаемой территории значительная часть проб характеризуется высоким и очень высоким уровнем загрязнения по Zn (ОДК > 3) (рис. 3). Территориально они расположены в селитебной зоне в пределах северной и центральной части города, а также у берега Онежского озера. Тяготение повышенных концентраций цинка к приповерхностным отложениям трансаккумулятивных ландшафтов

связано с близким расположением коренных пород. 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.



**Рис. 3.** Схема загрязнения почв 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 соцветий березы

Пределы нахождения меди в почвах г. Петрозаводска варьируют 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 центральной части города ( $K_{\text{одк}} = 6,7$ ), а также селитебной зоне на юге города ( $K_{\text{одк}} = 4,5$ ). Основными техногенными источниками меди для г.Петрозаводска являются автотранспорт и стационарные источники сжигания топлива. Медь является катализатором окислительно-восстановительных процессов, процессов кроветворения; корректирует функции витами-

нов. Некоторые соединения меди могут быть токсичны при превышении ПДК.

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

Исследования биотической компоненты ЭГС проводилось на основе результатов эколого-геохимической оценки почв и приповерхностных отложений города (табл. 2).

Ранее в г. Петрозаводске качественные характеристики пыльцы *Betula pubescens* изучались Н. А. Елькиной [7] 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 стерильной пыльцы не имеет значений выше 20 %, тогда как доля стерильной пыльцы из разных районов города варьирует от 8 % до 54 % (табл. 2). Максимальное количество стерильной пыльцы наблюдается в образцах из районов, в которых расположены самые крупные действующие промышленные предприятия города, либо проходят оживленные автомобильные трассы и железная дорога. 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 районе Зареки и пос. Соломенное количество стерильной пыльцы не превышает 10 % и близко к контрольному образцу из экологически благоприятного района оз. Сямозеро, где наиболее высокое содержание стерильной пыльцы – около 5 % [7]. 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: Елькиной Н. А. 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, расположенных, как правило, в глубине кварталов.

Таблица 2

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

Точка отбора, номер детского учреждения	Количество исследованных пылевых зерен	Содержание стерильных пылевых зерен в %
ул. Зеленая, № 110	2759	16,6
ул. Калевалы, № 104	2386	14,4
пр. Октябрьский, № 107	2165	7,6
ул. Сегежская, № 115	2477	11,2
ул. Сусанина, № 35	2482	15,4
ул. Сыктывкарская, № 108	2158	7,3
ул. Интернационалистов, № 118	2126	5,9
ул. Кирова, № 27	2482	11,4
ул. Железнодорожная, № 34	2238	10,6
ул. Шотмана, № 93	2281	12,3
ул. Сортавальская, № 99	2183	8,4

Тем не менее, даже при столь близких значениях качества пыльцы, можно отметить некоторое различие: наибольшее количество стерильной пыльцы обнаружено вблизи детских площадок, расположенных в районах Перевалки, вблизи завода «Петрозаводскмаш», в районе Ключевая – до 15 %. Наиболее высокое качество пыльцы – вблизи детских площадок в микрорайоне Древлянка и Октябрьский проспект.

Интересно отметить, что в пробах, отобранных с деревьев, произрастающих на территории детских площадок, расположенных близко от железной дороги, стерильность пыльцы довольно низка и составляет 11,6 % и 12,3 % соответственно. Возможно, это связано с тем, что площадки располо-

жены в глубине квартала, что предотвращает воздействие доступных для организмов форм тяжелых металлов. 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, количество стерильной пыльцы в пробах с этой детской площадки достаточно мало – 11,4 % что, вероятно, обусловлено удаленностью от действующих промышленных предприятий. Общий уровень стерильности формируется за счет комплексного воздействия на биоту в результате поступления загрязняющих элементов из атмосферы, гидросферы и приповерхностных отложений. Для

изучения взаимосвязей между содержанием тяжелых металлов в приповерхностных отложениях и стерильностью пыльцы проведен корреляционный анализ. Отметим, что значимая связь наблюдается между стерильностью и содержанием в почвах бериллия, меди, стронция, тантала. В этих случаях коэффициент парной корреляции варьирует от 0,71 до 0,78 (при  $r_{\text{крит}} = 0,71$ ).

### Заключение

1. В комплекс эколого-геохимических исследований урбанизированных территорий целесообразно включать анализ как абиотических, так и биотических компонент. Применение палинологических и тератологических методов изучения является чувствительным и может применяться при эколого-геохимических исследованиях.

2. Эколого-геохимическая оценка приповерхностных отложений выявила преимущественное распространение среднего уровня загрязнения по свинцу и высокого уровня загрязнения по цинку. Максимальные значения Кпдк для Pb приурочены к северо-западной промзоне, для Zn они тяготеют к прибрежной части города. Выявлены ведущие элементы загрязнители цинк, свинец, медь.

3. Детские площадки, согласно особенностям их размещения, являются наиболее защищенными элементами городских территорий. Соответственно их показатели демонстрируют уровень максимально благоприятного состояния эколого-геологических систем. Тем не менее, эколого-геологическая оценка территории г.Петрозаводска выявила состояния экологических рисков, приуроченных к данным участкам.

4. Уровень загрязнения приповерхностных отложений города некоторыми тяжелыми металлами отражается на состоянии компонентов экосистем. Максимальный уровень количества стерильной пыльцы наблюдается в пределах детских объединений в микрорайонах Ключевая и Перевалка и определяется комплексным воздействием различных факторов среды. Целесообразно продолжение подобных исследований, включающих анализ не только стерильности/фертильности, но и терратоморфности (уродливости) пыльцевых зерен. Задачей дальнейших исследований является определение влияния загрязнения на различные виды растительности и выявление эффективных

оценочных биоиндикаторов для эколого-геохимических оценок урбанизированных территорий.

5. Для уменьшения вредного воздействия загрязняющих веществ на детские игровые площадки целесообразно окружать их зелеными насаждениями, выполняющими важнейшие средозащитные и средообразующие функции. В пределах площадок характеризующихся превышениями в почвах и приповерхностных отложениях свинца и цинка необходимо провести комплекс дополнительных эколого-геохимических исследований с целью выявления площадных характеристик и глубины распространения загрязнения. По результатам данных исследований должен вырабатываться комплекс рекомендаций по возможности использования обозначенных площадок. Необходим постоянный мониторинг состояния приповерхностных отложений, как в пределах площадок, так и в 15-метровой зоне, прилегающей к ним.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Косинова И. И. Техногенные преобразования природной среды территории г. Воронежа и его экологические последствия / И. И. Косинова, Н. В. Крутских, Н. Р. Кустова. – М. : РГОТУПС, 2007. – 172 с.
2. Федорец Н. Г. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска / Н. Г. Федорец, М. В. Медведева. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2005. – 96 с.
3. Головин А. А. Эколого-геохимическая оценка урбанизированных территорий / А. А. Головин, С. Б. Самаев, Л. С. Соколов // Прикладная геохимия. – М., 2008. – Вып. 7. – С. 289–299.
4. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды / О. Ф. Дзюба. – СПб. : Недра, 2006. – 198 с.
5. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М. : Колос, 1974. – 287 с.
6. Убугунов В. Л. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ / В. Л. Убугунов, В. К. Кашин. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.
7. Елькина Н. А. Динамика состава пыльцевого спектра воздушной среды в период вегетации растений / Н. А. Елькина, Е. Ф. Марковская // Бюл. Моск. Общества Испытателей Природы. Отд. Биол. – 2008. – Т. 113, вып. 2. – С. 71–75.
8. Осипов В. И. Оценка природных рисков / В. И. Осипов // Геоэкология. – 2004. – № 6. – С. 483–490.

*Воронежский государственный университет  
И. И. Косинова, заведующая кафедрой экологической геологии, доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Тел. 8 (473) 220-82-89  
kosinova777@yandex.ru*

*Voronezh State University  
I. I. Kosinova, the Head of the Chair of Ecological Geology, Doctor of Geology-Mineralogical Sciences, Professor  
Tel. 8 (473) 220-82-89  
kosinova777@yandex.ru*

*Институт геологии Карельского научного центра  
Н. В. Крутских, кандидат географических наук, научный сотрудник  
8 (8142) 76-98-24  
natkrut@gmail.com*

*Institute of Geology Karelian Research Centre  
N. V. Krutskih, Candidate of the Geographical Science, scientific worker  
8 (8142) 76-98-24  
natkrut@gmail.com*

*Н. Б. Лаврова, кандидат биологических наук, научный сотрудник  
8 (8142) 76-98-24  
lavrova@krc.karelia.ru*

*N. B. Lavrova, Candidate of the Biological Science, scientific worker  
8 (8142) 76-98-24  
lavrova@krc.karelia.ru*