

## ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПО КРИТЕРИЯМ КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Экологическая обстановка в крупном промышленном городе формируется за счет суммации воздействия множества техногенных факторов на здоровье населения, а оценка уровней экологического риска является актуальной проблемой урбоэкологии. В последние годы быстро развивается новое научное направление, базирующееся на теории риска для здоровья, связанного с состоянием окружающей среды. Оно получило развитие на базе совместных разработок Федерального Центра экологической политики России и Американского агентства по охране окружающей среды [1, 5], а его суть заключается в разработке концептуальных основ теории и практики оценки качества окружающей среды с целью выявления факторов, угрожающих состоянию экосистем и здоровью человека, а также выработке мер по нейтрализации неблагоприятного воздействия этих факторов, снижению экологического риска и оптимизации среды обитания.

Принципиальные основы этой методологии базируются на следующих постулатах:

- живые организмы и человек имеют в основном сходные ответные реакции на воздействие факторов риска, особенно химических загрязнителей среды;
- существует количественная зависимость дозы и эффекта воздействия, которая может быть описана математически;
- существуют биомаркеры, т.е. индикаторы воздействий, характеризующие взаимодействие между биологическим видом и потенциально опасным фактором физической, химической или биологической природы.

Базируясь на этой методологии, возможно идентифицировать и количественно оцени-

вать уровни риска, а также планировать меры по организации мониторинга окружающей среды и снижению риска в экологически неблагополучных районах.

Общая схема оценки риска для здоровья населения показана на рис. 1 и включает 4 основных этапа:

**1. Идентификация или распознавание опасности**, когда определяется сама возможность вредного воздействия фактора среды, например, загрязнителя на здоровье; оценивается сила, частота воздействия, в частности, определяются объемы выбросов или концентрации загрязнителей в среде обитания. Первый этап - своего рода экологическая диагностика факторов риска, при которой используются методы мониторинга, биотестирования. Она осуществляется, по крайней мере, в трех основных направлениях: а) установление путей поступления ксенобиотиков в организм и особенностей их трансформации, б) выбор приоритетных для региона токсикантов, а именно: наиболее распространенных в среде обитания, включающихся в пищевые цепи или природные процессы циркуляции веществ, являющихся сферой контакта с населением. Так, одним из наиболее известных биомаркеров промышленного загрязнения в городах является содержание в волосах и крови человека свинца [5].

**2. Оценка воздействия.** Определяется экспозиция, характеризующая длительность, частоту и величину воздействия, которому подвержены или могут быть подвержены индивидуумы и популяции в присутствии факторов риска. Затем рассчитывается доза вещества, поступившего в организм. Для каждого вредного фактора составляется маршрут воздей-

*Оценка уровня экологического риска по критериям качества городской среды*



**Рис.1.** Этапы оценки риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением окружающей среды

ствия, характеризующий механизм попадания в окружающую среду и организм человека.

**3. Оценка зависимости “доза-эффект”, характеристика риска.** Осуществляется анализ количественных данных об изменениях в среде, в организме человека или популяции под воздействием определенного количества агентов риска, т.е. описывается взаимоотношение между воздействием или полученной дозой и величиной отрицательного влияния на здоровье. Смысл этого этапа заключается в построении количественных моделей воздействия факторов риска на здоровье и количественной оценке уровней риска (например, риск “ $1 \cdot 10^{-6}$ ” интерпретируется как 1 случай заболевания на 1000000 жителей, что по критериям ВОЗ не вызывает беспокойства и соответствует уровню допустимого, приемлемого риска; для сравнения: опасен канцерогенный риск более “ $1 \cdot 10^{-4}$ ”) [1].

Известно, что большинство токсических эффектов от загрязнения среды нелинейны. Выделяют два основных типа эффектов: канцерогенные и неканцерогенные. Для канцерогенных веществ предполагается, что их вредные эффекты могут возникать при любой дозе, вызывающей инициирование повреждений генетического аппарата и канцерогенез. Считается, что вещества, обладающие канцерогенным эффектом, не имеют уровня, ниже которого они были бы безопасны для здоровья человека, т.е. эти вещества не обладают порогом действия.

Что касается другой группы – неканцерогенов, – то для них допускается существование пороговых уровней, ниже которых вредные эффекты не должны возникать. Эту группу образует большое количество веществ общетоксического, аллергенного, но неканцерогенного действия. Между дозой токсиканта и ответной реакцией организма существуют зависимости, так известно:

- чем выше доза, тем более выражена реакция,
- чем выше доза, тем выше процент населения, реагирующего на загрязнение,

- канцерогенные эффекты проявляются с самого начала воздействия, а с увеличением дозы вероятность канцерогенного эффекта возрастает,

- неканцерогенные эффекты проявляются только после достижения предельных (пороговых) доз.

Оценка неканцерогенных (общетоксических) рисков основана на убеждении в пороговом действии большинства неканцерогенов, что олицетворяет основной российский гигиенический стандарт – предельно допустимая концентрация (ПДК загрязнителя). В зарубежной, в частности, американской науке, такие пороговые дозы олицетворяет референтная доза (Rfd) – показатель токсичности вещества (мг/кг массы тела в сутки), – характеризующая уровень минимального токсического эффекта для экспонированного населения. С учетом опасности веществ в российской практике вводят коэффициент запаса, характеризующий степень токсичности загрязнителя, а референтную дозу измеряют произведением предельно допустимой концентрации токсиканта на коэффициент запаса ( $R_z$ ), т.е. константу, принимающую значения 7,5; 6; 4,5; 3 соответственно для веществ 1; 2; 3; 4 классов опасности. Уровень индивидуального неканцерогенного (общетоксического) риска, связанного с загрязнением атмосферы ( $R_{нк}$ ), предложено рассчитывать по формуле 1/:

$$R_{нк} = \{CCD_i / Rfd\} * a \quad /1/$$

где:  $a$  – константа, равная 1, если риск рассчитан на период средней продолжительности жизни человека, равной 70 годам ( $a=70/70$ );  $CCD_i$  – среднесуточная доза поглощения загрязнителя в атмосферном воздухе населенных мест ( $CCD_i = Ci * 20 \text{ м}^3 / 70 \text{ кг}$ );  $Rfd$  – референтная доза ( $Rfd = ПДК * R_z$ ).

Индивидуальный риск выражают в долях единицы, например, риск “0,04” соответствует риску появления токсического эффекта в 4 случаях из 100. С долей некоторой погрешности считают возможным оценивать суммарный неканцерогенный риск как сумму рисков по отдельным ингредиентам.

## Оценка уровней экологического риска по критериям качества городской среды

Принятая система оценки времени наступления ожидаемого токсического эффекта (**T**) от воздействия загрязненного атмосферного воздуха на человека базируется на формуле /2/:

$$T = 10^{\{\lg(T_0) - \lg(C_i / ПДК)\}b} \quad /2/$$

где:  $T_0$  - расчетное время гарантированного отсутствия токсического эффекта, на которое разрабатывается гигиенический норматив (25 лет);

$C_i$  - среднесуточная концентрация *i*-вещества в атмосферном воздухе населенных мест за оцениваемый период;

**ПДК** – предельно допустимая концентрация;

**b** - коэффициент изоэффективности, учитывающий особенности токсических свойств вещества (определяется в соответствии с классом опасности). При обосновании выбора  $T_0$  нами учтено, что длительность круглосуточной экспозиции экспериментальных животных при проведении исследований по регламентированию вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест обычно составляет 3-4 месяца или 10-15% времени жизни лабораторных животных. Оценка токсикокинетики большей части регламентированных химических соединений и сравнительной физиологии дыхательных систем человека и лабораторных животных показывает, что в медико-экологических исследованиях этот период должен быть определен как 25 лет (около 10000 суток) [1].

Экстраполяция значений коэффициента **b** на расчетный срок (25 лет) позволяет предложить следующие значения для веществ 1 – 4 классов опасности: 1-й класс – 2,4; 2-й класс – 1,3; 3-й класс – 1,0; 4-й класс – 0,86. Кроме того независимо от класса опасности при среднегодовой концентрации, меньшей ПДК,  $b=1$ .

**4. Управление риском.** Заключается во взаимной стыковке и сопоставлении данных, полученных на предыдущих стадиях, с целью окончательной оценки риска и выработки стратегии оптимизационных мероприятий по оздоровлению среды обитания. Основная зада-

ча данного этапа – снизить уровень риска до величины приемлемого, допустимого (ликвидировать риск вообще часто нереально или экономически нерентабельно).

В ходе медико-экологических исследований, осуществленных нами совместно с санитарно-эпидемиологической службой г. Воронежа и основанных на корреляционно-регрессионных методах [4,6], установлено, что среди факторов риска для здоровья жителей важнейшее значение имеет состояние воздушного бассейна города. Уровень его загрязнения обусловлен, во-первых, автотранспортной нагрузкой, на долю которой приходится около 85% общего загрязнения воздушного бассейна города, а, во-вторых, - промышленным воздействием и объектами теплоэнергетики (15%). Среди приоритетных загрязнителей выделяются оксид углерода, бенз(а)пирен, оксиды серы и азота, формальдегид, запыленность атмосферного воздуха. Так, подсчитано, что присутствие бенз(а)пирена в атмосферном воздухе в концентрациях, достигающих вблизи автомагистралей 5-6 ПДК и более, провоцирует появление около 8 дополнительных случаев рака в год среди населения города [2].

Отмечено, что наибольшую опасность по минимальному вероятному времени наступления токсического эффекта в промышленных районах города представляют пылевая нагрузка, оксид углерода (22-40 лет), а показатели рисков наступления токсических эффектов достигают опасного порога, в то время как в “условно – чистых” зонах вероятное время наступления токсических эффектов превышает 65 лет, что по эколого-гигиеническим критериям не вызывает беспокойства [1].

Установлено, что наиболее существенный “отклик” со стороны населения на атмосферное загрязнение связан с развитием болезней крови (в основном - анемии), врожденных аномалий, болезней системы кровообращения. Причем, анализ накопления тяжелых металлов в биосредах, в частности, в волосах детей, выполненный в городском Центре госсанэпиднадзора, показал повышенное содержание

свинца в волосах детей, проживающих на загрязненной свинцом территории и выбранных в качестве опытной группы (промышленно-автотранспортная зона Коминтерновского района). Его максимальное содержание в волосах составляет 17,2 мкг/г при средней величине 4,9 мкг/г, в то время как в “условно-чистом” районе (СХИ) максимальное содержание свинца в контрольной группе детей составляет 4,7 мкг/г при средней величине 3,2 мкг/г. В опытной группе превышение содержания свинца в волосах выше безопасного уровня, рекомендованного ВОЗ и равного 8 мкг/г, отмечалось в 12% проб. На выявленных территориях риска 48% детей имеют повышенный уровень свинца в крови (более 10 мкг/дл, рекомендованного ВОЗ), средняя концентрация которого составляет 17,1 мкг/дл [2,3].

В целом аналогичные выводы об экологической обусловленности ряда заболеваний населения были сделаны на основе анализа архитектурно-планировочных и ландшафтных условий. Установлено, что наименее комфортными являются городские микрорайоны с высоким транспортно-промышленным пресингом, нерациональной планировкой без достаточных санитарно-защитных зон между промышленными и селитебными застройками, пониженным потенциалом самоочищения атмосферы. “Зонами экологического риска” обычно становятся территории, прилегающие к крупным транспортным коммуникациям – железным и автодорогам. Причем, рельеф города и роза ветров с преобладанием западных ветропереносов способствуют осаждению вредных примесей на низменном левобережье, в частности, на территории Железнодорожного района города, – “приемнике” отходящих выбросов промышленных предприятий возвышенного правобережья [6].

На примере этого индустриального района, расположенного в северо-восточном левобережье города, нами проведена детальная оценка уровней экологического риска. Исходные данные по параметрам атмосферного загрязнения улиц района предоставлены Центром

Госсанэпиднадзора в г. Воронеже. В Железнодорожном районе проживает около 120 тысяч человек. На его территории функционирует около 60 промышленных предприятий, в число которых входят представители электронной промышленности (АООТ “ВЗПП”, АООТ “Завод процессор”, АООТ “Элмаш”, ОАО “Видефон”, АООТ “ВЭЛТ”); мебельной промышленности (АООТ “Мебель Черноземья”, АООТ “СОМЕФ”, АООТ “Графское”) объекты железнодорожного транспорта (Локомотивное депо ст. Отрожка, ВВРЗ им. Тельмана), а также другие промышленные и автотранспортные предприятия. По сведениям Городского комитета охраны окружающей среды в районе насчитывается более 1600 источников вредных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города, а общий объем поступающих в атмосферу выбросов, хотя и имеет тенденцию к снижению в течение 1991-2000 гг., но сохраняется стабильно высоким (около 1000 т/год). В районе устойчиво выше городского уровня младенческая и перинатальная смертность, а заболеваемость детского населения болезнями костно-мышечной и мочеполовой систем в 2,3 – 2,8 раз превышает общегородской уровень [2].

Для измерения количественных параметров уровней экологического риска на территории были определены рецепторные (наиболее репрезентативные) точки в районе оживленных автомагистралей и в рекреационных (внутриквартальных) зонах, а затем рассчитаны индексы риска и время ожидаемых токсических эффектов по описанной выше методике. Фрагменты наиболее информативных результатов расчетов показаны в таблице.

Они свидетельствуют в целом об удовлетворительной ситуации в районе, поскольку индивидуальный уровень риска в большинстве рецепторных точек не превышает допустимого (безопасного) порога и варьирует на уровне 0,01-0,03 (1 – 3%), что по критериям ВОЗ не вызывает беспокойства [1]. Однако, наблюдаются локальные зоны риска, приуроченные, в основном к крупным уличным пе-

Таблица

Оценка уровней риска для здоровья населения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха Железнодорожного района г. Воронежа

Рецепторные точки на территории района	Ингредиенты	Среднесуточная концентрация в атмосфере (мг/м <sup>3</sup> )	Индивидуальный индекс риска (R <sub>ик</sub> , доли единицы)	Расчетное время наступления токсического эффекта, лет (Т)	Суммарный индекс риска по пяти ингредиентам (%)
Микрорайон "Отрожка"	оксид углерода	1,655	0,032	75,5	14,3
	пыль	0,324	0,041	38,6	
	свинец	0,0003	0,011	90,2	
	оксид серы	0,086	0,011	145,3	
	формальдегид	0,035	0,048	25,0	
Больница "Электроника"	оксид углерода	2,017	0,038	62,0	8,9
	пыль	0,125	0,016	100,0	
	свинец	0,0003	0,011	90,2	
	оксид серы	0,126	0,016	99,2	
	формальдегид	0,006	0,008	145,8	
Перекресток (ул. Остужева - Ленинский пр.)	оксид углерода	2,25	0,043	55,6	15,6
	пыль	0,422	0,054	29,6	
	свинец	0,0006	0,023	41,7	
	оксид серы	0,100	0,013	125,0	
	формальдегид	0,017	0,023	51,5	
ул. Переверткина	оксид углерода	3,50	0,067	35,7	14,7
	пыль	0,096	0,012	130,2	
	свинец	0,0002	0,008	125,0	
	оксид серы	0,102	0,013	122,6	
	формальдегид	0,035	0,047	25,0	
Перекресток (ул. Димитрова - Ленинский пр.)	оксид углерода	1,863	0,036	67,1	21,3
	пыль	0,88	0,112	14,2	
	свинец	0,0005	0,019	50,0	
	оксид серы	0,090	0,011	138,9	
	формальдегид	0,026	0,035	33,7	

рекресткам (ул. Димитрова - Ленинский пр., ул. Остужева - Ленинский пр.), где например, уровень риска по пыли достигает опасного порога 5 – 11%. Причем, на перекрестке ул. Остужева - Ленинский проспект индекс риска и атмосферное загрязнение ниже, видимо, за счет рассеивания и самоочищения в “аэродинамической трубе”, возникающей на открытой линии “северный мост через водохранилище – ул. Остужева”, что отсутствует на пересечении ул. Димитрова - Ленинский проспект.

Наиболее благополучна ситуация по загрязнению свинцом, оксидами серы и азота (практически на всех исследуемых точках риск не превышает 2%). В значительной мере наблюдаемое улучшение ситуации по свинцу в атмосфере связано с запретом использования в городе этилированного бензина с 1999 г. Время токсического эффекта повсеместно превышает 40 лет, что не должно вызывать какого-либо беспокойства.

Риски от присутствия оксида углерода и формальдегида в атмосфере колеблются на грани безопасного и вызывающего беспокойство уровней 3 - 5%, а в отдельных точках (например, по ул. Переверткина) превышают безопасный 5% порог (таблица).

Пылевая нагрузка наиболее адекватно характеризует уровень техногенного транспортно-промышленного загрязнения района, а в ряде территориальных участков уровень риска превышает допустимые критерии. Наиболее неблагоприятна ситуация в 20-40 метровой зоне вблизи крупных автомагистралей и перекрестков (непрерывные транспортные потоки, автомобильные пробки и переключение скоростей провоцируют высокую запыленность и загазованность). Время токсических эффектов снижается вблизи автомагистралей до 13-20 лет (опасный уровень), а индикатором общей напряженности экологической обстановки служит суммарный индекс риска, определяемый как арифметическая сумма индивидуальных рисков по основным приоритет-

ным загрязнителям атмосферного воздуха. В наиболее неблагоприятных точках он превышает 20% - порог, что свидетельствует о том, что для конкретного жителя района риск появления какого-либо общетоксического синдрома или заболевания, связанного с техногенным загрязнением (прежде всего, запыленностью и загазованностью формальдегидом, оксидом углерода) составляет около 20 шансов из 100 .

Вблизи Ленинского проспекта и ул. Б. Хмельницкого уровни суммарного риска повсеместно достигают 15 – 20 % и более, а в “условно чистой зоне” вблизи больницы “Электроника”, расположенной в пределах лесного массива начинающейся пригородной зеленой зоны города – менее 9 %, причем по всем загрязнителям время потенциального токсического эффекта в пригородной зоне превышает 60 лет, что соответствует вполне безопасному порогу. Территория микрорайона “Отрожка” отвечает своей “буферной” роли относительно экологического благополучия города, а суммарный индекс риска составляет около 12 - 14%.

Опираясь на полученные данные, нами проведено зонирование территории Железнодорожного района по уровням суммарного риска для здоровья населения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха (рис. 2). Для улучшения сложившейся ситуации, снижения уровней экологического риска и оздоровления городской среды требуется разгрузка основных транспортных магистралей – Ленинского проспекта и ул. Б. Хмельницкого, создание более эффективной защиты населения от промышленно-транспортного воздействия, расширение системы внутрирайонного озеленения.

Перспектива развития исследований связана с детальной экологической диагностикой территории города, расширением постов мониторинга среды обитания и, в конечном итоге, переходе от этапа установления уровней риска для здоровья населения к этапу управления риском и его минимизации.

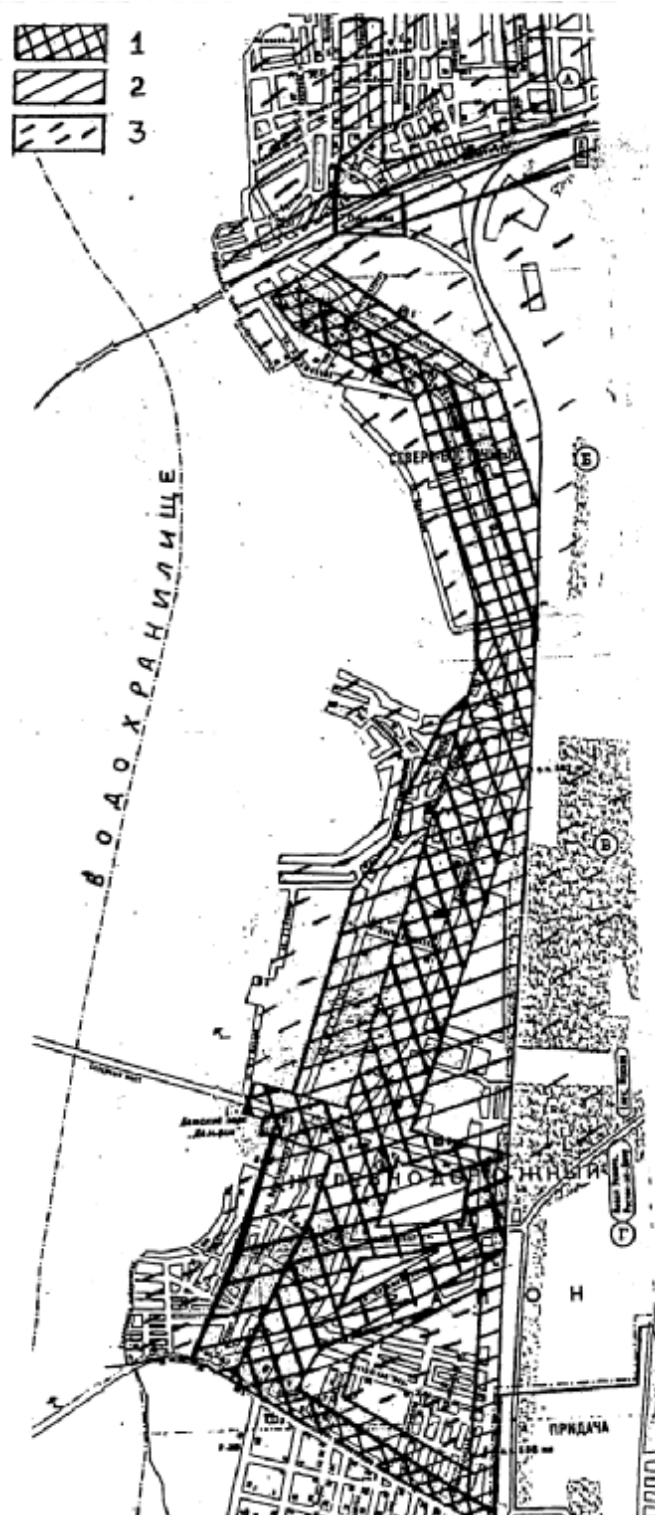


Рис.2. Зонирование территории Железнодорожного района г. Воронежа по уровням риска для здоровья населения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха.

Индекс суммарного риска от присутствия в воздухе 5 ингредиентов: 1 – повышенный, вызывающий беспокойство (15 - 23 %), 2 – умеренный (9 - 14 %), 3 – пониженный, допустимый (2 - 8 %).



*А.И. Федорова, Н.В. Каверина*

Исследования проведены по проекту № 990448 программы Минобразования РФ “Университеты России – фундаментальные исследования”.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуцилло Е.В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.

2. Доклад о санитарно-эпидемиологической обстановке в г. Воронеже в 2000 г. – Воронеж: ЦГСЭН в г. Воронеже, 2001. – 120 с.

3. Куролап С.А., Мамчик Н.П., Клепиков О.В. Оценка риска для здоровья населения, связанного с загрязнением городской среды // География, об-

щество, окружающая среда: развитие географии в странах Центральной и Восточной Европы: Тез. докл. межд. науч. конф. (Калининград - Светлогорск, июнь 2001г.). – Калининград, 2001. – Ч. 1. – С. 209–210.

4. Куролап С.А., Федотов В.И. Геоэкологические основы мониторинга и эколого-гигиеническое зонирование городской среды // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. – 2000. – №4. – С. 120–123.

5. Ревич Б.А. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. Введение в экологическую эпидемиологию. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – 264 с.

6. Экология и мониторинг здоровья города Воронежа / Н.П. Мамчик, С.А. Куролап, О.В. Клепиков и др. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 1997. – 180 с.

УДК 631.415.1:504.054(470.324)

*А.И. Федорова, Н.В. Каверина*

### **ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ КРУПНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА (НА ПРИМЕРЕ Г. ВОРОНЕЖА)**

Железнодорожный транспорт является в большинстве случаев экологически чистым видом транспорта, исключая электромагнитные поля, которые могут отрицательно влиять на машинистов тепловозов, рабочих и жителей прилегающих территорий. Однако, сегодня по железным дорогам (ж.д.) перевозится 3/4 всех грузов, в том числе, и открытым способом (угли, древесина, руда, машины и др.) [9]. Особенно большое опасение в отношении загрязнения окружающей среды вызывают крупные железнодорожные узлы, где происходит формирование поездов, техническое обслуживание, ремонт вагонов и локомотивов. Маневровые поезда, работающие на дизельном топливе, выделяют в окружающую среду много кадмия, свинца и углеводородов. Кроме того, тяжелые металлы (ТМ) могут поступать в среду от стирающихся частей локомотивов и вагонов (Fe, Ni, Zn, Cu и др.). Выделение тяжелых металлов и других веществ, бесспорно, зависит от давности эксплуатации дороги, наличия ограждений из бетона и зеленых насаждений, которые могут служить геохимическими барь-

ерами в распространении поллютантов. Сам же железнодорожный узел является экогеохимической аномалией [3].

В качестве объекта исследования нами выбран железнодорожный узел Воронеж –1, существующий с 1865 года и лишь в 1965 г. переведенный на электротягу. Для миллионного города это основной путь перевозки грузов и пассажиров.

Узел представляет собой сложный комплекс технологически связанных железнодорожных путей, депо, а также жилой застройки, формировавшей когда-то окраину города. В Воронеже, как и возле любого другого железнодорожного узла, существует сквер для отдыха пассажиров, подъездные дороги автотранспорта, троллейбусов и трамваев, которые вносят весьма существенный вклад в загрязнение среды тяжелыми металлами и остатками углеродистого топлива (нефтепродукты).

Загрязняющие вещества могут переноситься на большие расстояния от железнодорожных и автотранспортных путей, оседать на зданиях, парапетах, попадать в зону дыхания