

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ КИСЛОТНЫХ ДОЖДЕЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ ЭКОСИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

В статье приводятся результаты исследования экологических нагрузок на придорожные территории улиц промышленного города, формирующихся при вымывании пылегазовых примесей осадков в виде дождя и снега. Рассчитаны суммарные экологические нагрузки, позволяющие проводить ранжирование придорожных территорий по уровню экологического неблагополучия.

Урбанизация территории приводит в крупных промышленных городах к необратимым разрушениям окружающего ландшафта и биосферы в целом. Особую опасность для окружающей среды автотранспорт создает тем, что выброс кислотообразующих веществ осуществляется в приземном слое воздуха на небольшой высоте (менее 1 м). В конечном счете эти вещества с атмосферными осадками попадают на подстилающую поверхность. Осадки являются хорошим индикатором загрязнения воздуха в населенных пунктах и достаточно точно позволяют определить пространственную дифференциацию химических веществ и количественно оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха [1, 2].

Оценки воздействия кислотных дождей на экосистемы придорожной зоны следует проводить по ниже описанной схеме (рисунок 1). При повышенной кислотности почв из верхних горизонтов выносятся обменный кальций и магний, активизируются обменные процессы. Почвенные организмы более приспособлены к пониженным значениям рН почвенной влаги, но и они угнетаются возрастающей кислотностью. Так, происходит гибель азотфиксирующих бактерий, нарушаются процессы азотфиксации, происходит сокращение поступления биогенов растительным сообществам. Разрыхляющие почву дождевые черви могут жить в слабокислых почвах, в таких условиях они «нейтрализуют» почвенные кислоты с помощью выделяемой ими извести [3]. В кислой почве дождевые черви погибают, тем самым способствуя уплотнению почвы и снижению ее плодородия. Среди других нарушений, происходящих в почве вследствие ее закис-

ления, следует отметить нарушение процессов питания растений, разрушение их корневой системы [4].

Придорожная зона рассматривается нами как часть территории города, выполняющая роль буфера между природными (жилой и техногенной) средами. Известно [5], что под действием промышленно-транспортных загрязнителей процесс трансформации экосистемы в целом схематично можно представить как последовательность определенных стадий.

1. Выпадения чувствительных видов (лишайников) при сохранении основных параметров экосистемы (фоновая нагрузка превышена в 1,5–2 раза).

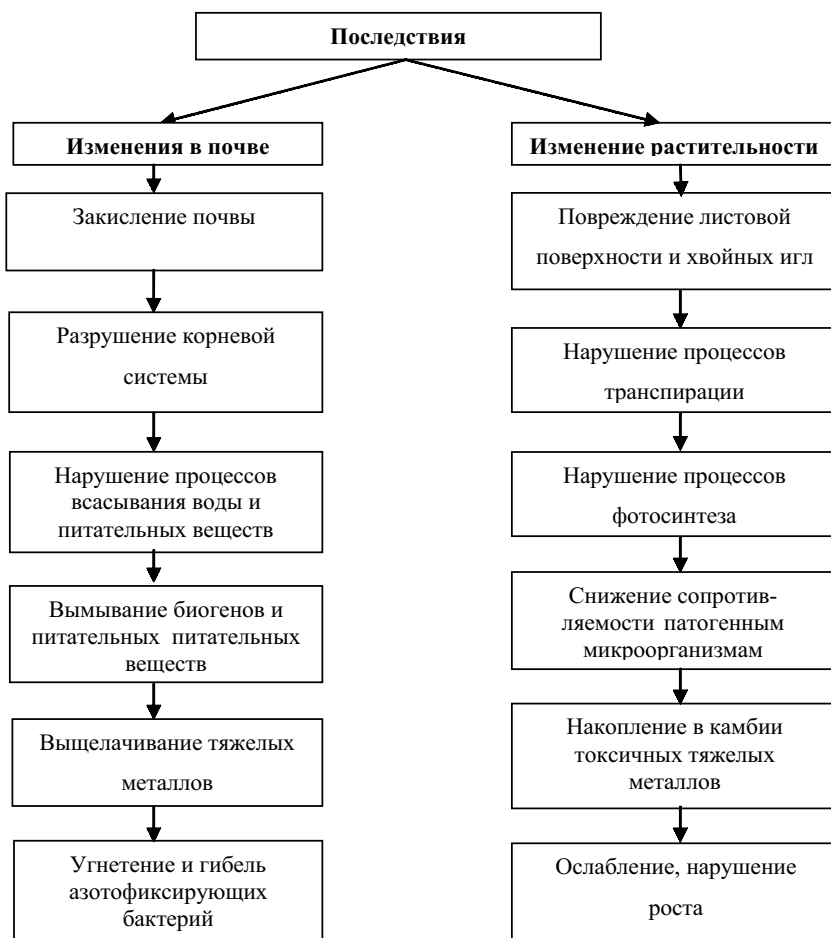


Рисунок 1. Последствия воздействия кислотных дождей

2. Структурных перестроек экосистемы (превышение фоновой нагрузки в 2,7-4 раза). Регистрируется ухудшение санитарного состояния деревьев, но плотность древостоя и его запас не изменяются. Происходят изменения в травяно-кустарничковом ярусе (выпадают чувствительные виды лесного разнотравья). Замедлены процессы, осуществляемые почвенными микроорганизмами. Незначительно увеличивается толщина подстилки. Существенно уменьшается разнообразие и обилие эпифитных лишайников. Параметры населения и мелких млекопитающих остаются на уровне фона.

3. Стадия частичного разрушения экосистемы (превышение фона в 6,0-7 раз). Древесный ярус угнетен и изрежен, значительно уменьшены его запас и полнота, нарушено возобновление. В травяном ярусе почти отсутствуют лесные виды, которые заменены луговыми и видами-эксплерентами. Повышена кислотность верхних почвенных горизонтов, из них выносятся обменный кальций и магний. Активизируются эрозийные процессы. Биологическая активность почвы резко снижена. Крупные почвенные сапрофаги отсутствуют. Уменьшена скорость деградации листового опада, который накапливается в виде толстого слоя подстилки. Лишайниковый покров сохраняется только у самого основания стволов, представлен одним – тремя устойчивыми видами. Происходит элиминация крупных лесных видов птиц, меньше общая плотность орнитонаселения. Наблюдается вселение синантропных видов и видов, приуроченных к открытым местообитаниям (характерно для населения птиц, мелких млекопитающих и муравьев).

4. Стадия полного разрушения (коллапса) экосистемы (превышение фоновой нагрузки в 10 раз и более). Переход к ней означает для экосистемы полную гибель. Древесный ярус полностью разрушен, сохраняются лишь отдельные, сильно угнетенные экземпляры деревьев. Травяной ярус представлен одним-двумя видами злаков, в увлажненных местах встречается хвощ. В понижениях – одновидовой моховой покров и захоронения неразложившегося опада. Лишайниковый покров отсутствует. Полностью смыты подстилка и верхние горизонты почвы. Биологическая активность почвы снижена до нуля. Почвенные животные отсутствуют. Группировка птиц и мелких млекопитающих не поддерживают свою структуру и существуют за счет притока мигрантов с соседних участков территории.

Общее направление техногенных смен противоположно ходу естественных сукцессий и

следует характеризовать как движение системы вспять. Состояние экосистемы в зоне техногенной пустыни (экологической катастрофы) аналогично стадии пионерского сообщества при демулационных сукцессиях.

Техногенная сукцессия сопровождается снижением биоразнообразия, падением продуктивности и упрощением структуры, замедлением и разрывом круговорота биогенов. Тормозятся как продукционные, так и деструкционные процессы, нарушается баланс между ними. Ряд структурных элементов полностью элиминируется (лесное разнотравье, почвенные сапрофаги, эпифитные лишайники). Две последние стадии патологичны и переход к ним означает для экосистемы полную потерю устойчивости как способности возвращаться в исходное состояние. Оценка экологических нагрузок на почву через атмосферу можно провести через дифференциальные и интегральные параметры системы улиц промышленного города «УПГ» по трем разным схемам:

– по абсолютной нагрузке на почву отдельной  $i$ -й примеси ( $N_i$ );

– по абсолютной суммарной нагрузке на почву всех примесей, выделяющихся из атмосферного воздуха ( $N_{\text{сум}}$ );

– по относительной суммарной нагрузке на почву, отнесенной к фоновой нагрузке ( $A$ ).

Поэтому должны проводиться исследования по определению экологических нагрузок, формирующиеся через степени загрязнения снежного покрова и дождевой воды в природной территории соединениями серы и азота, а также взвешенными частицами.

Экологические нагрузки ( $N$ ) следует считать по формуле

$$N = \frac{m}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поверхности среза снежного покрова;

$t$  – время, в течение которого собирались осадки;

$m_i$  – масса  $i$ -й примеси.

Экологическую нагрузку на почву можно представить через концентрационные характеристики промежуточных сред (воздуха и осадков) в виде

$$N = C_{\text{эс}i} \cdot Q, \quad (2)$$

где  $C_{\text{эс}i}$  – концентрация  $i$ -ой примеси в осадках;

$Q$  – количество выпавших осадков в сезон.

Следовательно, уравнение (2) может быть использовано для ретроспективных и прогнозных оценок процессов вымывания примеси

осадками. При этом эталонами должны служить нормированные нагрузки по отдельным примесям [6] (таблица 1).

Для комплексной оценки качества урбанизированной территории следует применять суммарные экологические нагрузки по всем загрязняющим веществам, которые рассчитываются по формуле

$$N_{\text{сум}} = \sum_i^n N_i = \sum_i^n C_i \cdot Q \quad (3)$$

При этом оценка воздействия загрязнения на придорожные территории осуществляется из следующих соображений (таблица 2)[5].

Оценки, проведенные по суммарной нагрузке на территорию, интересны и дают представление о прессе, создаваемом техногенной средой на экосистему, но не позволяют определить приоритеты среди химических веществ, присутствующих в атмосферных осадках и воздействующих на территорию. Поэтому третья схема предусматривает интегральную оценку воздействия на земную поверхность через определение относительных суммарных нагрузок ( $A_1$ )

$$A_1 = \frac{N_{\text{сум}}}{N_{\text{фон}}^{\text{сум}}} \quad (4)$$

Кислотные дожди оказывают различное негативное влияние на окружающую среду урбанизированных территорий [7]. В первую очередь отрицательному воздействию подвергаются почва и растительность (рисунок 1). Следовательно, проблема кислотных дождей в настоящее время реально существует на урбанизированных территориях и относится к числу нерешенных, а для оценки устойчивости городской территории необходима качественная и количественная информация о состоянии ее компонентов. Поэтому для практических целей необходима разработка системного подхода по оценке состояния почв и растительного покрова, наблюдающегося под действием кислотных выпадений.

Пылегазовые выбросы автотранспорта в конечном счете попадают с атмосферными осадками на подстилающую поверхность и оказывают нагрузки на природные среды придорожных территорий.

Нами проведены исследования по определению экологических нагрузок, формирующихся при вымывании пылегазовых примесей осадками в виде дождя и снега в придорожной территории. Для отбора проб снега использовали пробоотборник, позволяющий брать срез снежного покрова площадью 3 дм<sup>2</sup>. Пробоотборник вертикально погружали в толщину

снега, затем наклоняли до уровня, находящегося примерно в 5 см от поверхности грунта, чтобы исключить попадания в пробу частиц почвы и растительных остатков. Снег из пробоотборников помещали в предварительно промаркированные полиэтиленовые мешки и доставляли в лабораторию. Снег оставляли таять при температуре среды плюс 18-20° С в течение трех часов. Талую воду сливали в маркированные емкости.

Отбор проб осадков в виде дождя производился непосредственно в момент их выпадения. Емкости для отбора проб с известной рабочей поверхностью устанавливали в тех же точках, где отбирали пробы снега, но на высоте 1 метр от земли, чтобы устранить случайные факторы загрязнения проб частицами грунта.

Экологические нагрузки загрязняющих веществ определяли через концентрацию примеси в осадках и рассчитывали по уравнениям (1)–(3). Анализ суммарных экологических нагрузок загрязняющих веществ показывает (таблица 2 и 3), что 3% площади придорожных территорий улиц города Оренбурга на расстоянии до 5 м от дороги характеризуются как территория с превышением предельно допустимых нагрузок ( $N_{\text{сум}} > 200 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$ ), 16% площади придорожных территорий характеризуются как сравнительно чистые ( $N < 50$ ), 65% площади придорожных территорий относятся к умеренно загрязненным ( $50 < N < 100 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$ ) и 16% пло-

Таблица 1. Критические нагрузки по веществам, влияющим на растительность и водные экосистемы

Показатели	Критические нагрузки, т/км*год		
	Параметры		Норма
	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	
Соединения серы	>5	3 - 5	< 0,32
Соединения азота	>4	2 - 4	< 0,28

Таблица 2. Критерии оценки качества территории по суммарным экологическим нагрузкам

Значения экологической нагрузки, т/км <sup>2</sup> *год	Характеристика территории
0-50	Сравнительно чистая территория
50-100	Умеренно загрязненная территория
100-200	Сильно загрязненная территория
>200	Территория с превышением предельно допустимой нагрузки

щади можно отнести к сильно загрязненной территории ( $100 < N < 200 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$ ).

Оценка воздействия на компоненты среды нами проводилась исходя из следующих предпосылок: важна не столько сама нагрузка на ландшафт, сколько ее относительная характеристика. Поэтому нами предложен критерий нагрузки на городскую среду, определенный через водорастворимые составляющие. Из уравнения (4) следует, что судить о степени загрязнения придорожной территории можно и по коэффициенту превышения экологических нагрузок загрязняющих веществ ( $A_1$ ) над фоновыми значениями.

По коэффициенту превышения экологических нагрузок можно установить приоритетные примеси, которые, оседая в придорожной территории улиц, могут оказывать значительное влияние на экологическую ситуацию. Анализ показал, что приоритетной примесью по массе на большинстве из исследованных нами улиц г. Оренбурга (до 65%) являются взвешенные частицы. Но кислотные дожди формируются под действием оксидов азота и серы. На магистральных улицах общегородского и районного значения приоритетными примесями также являются соединения азота (до 35%) и серы (до 15%).

Наибольшие значения коэффициентов превышения нагрузки по соединениям серы (5,6–8,7) и азота (2–8,2) наблюдаются на улицах общегородского значения, а наименьшие по соединениям серы (4,3–4,5) и азота (1,9–3,5) – на улицах местного значения. Экологические нагрузки по соединениям серы и азота на улицах районного значения в 3–7 раз превышают фоновые. Во много раз выше фоновых значений и экологические нагрузки по взвешенным частицам. Так, на 20%

Таблица 3. Значения суммарных экологических нагрузок загрязняющих веществ на придорожных территориях различных улиц

Классификация улиц	Названия улиц	Суммарные экологические нагрузки $\text{т/км}^2 \cdot \text{год}$ , на различном расстоянии от дороги, м			
		5	10	15	25
	Контроль	21,3			
Улицы общегородского значения	Володарского	103,8	75,6	68,6	57,5
	Гагарина	125,2	119,8	79,3	62,8
	Пр. Победы	177,1	123,8	163,4	92,6
	Терешковой	137,1	136,3	84,3	61,5
	Чкалова	112,5	142	84	60
Улицы районного значения	Салмышская	128	92,1	77	73,2
	Шевченко	235	218,7	85,6	70,8
Улицы местного значения	Юных Ленинцев	46,1	43,7	38	31,7

площади придорожных территорий улиц общегородского и на 34% улиц районного значения коэффициент превышения составил 10–39 и 11–51 соответственно, что свидетельствует о том, что на придорожных территориях этих улиц экосистемы находятся в стадии полного разрушения. Минимальные коэффициенты превышения (1,3–3,2) наблюдаются на улицах местного значения, где, очевидно, экосистемы находятся либо в стадии выпадения чувствительных видов, либо в стадии структурных перестроек (превышение фоновой нагрузки в 2,7–4 раза).

Так как соединения серы и азота являются приоритетными кислотообразующими веществами, то нами также определены нагрузки, оказываемые этими примесями на городской ландшафт. Так, на улицах общегородского значения в зимний период года наибольшая нагрузка по соединениям серы составила  $0,84 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$ , а наименьшая –  $0,54 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$ . В летний период года она изменялась от  $1,74$  до  $3,29 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$ . Примерно такую же нагрузку испытывают придорожные территории улиц районного значения. Отметим, что максимальная нагрузка соединений серы в зимний и летний периоды составила  $0,94 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$  и  $2,9 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$ , а минимальная –  $0,61 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$  и  $1,74 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$  соответственно, что в 1,5–2 раза выше, чем на улицах местного значения. Причем больше всего подвержены воздействию соединениями серы территории, расположенные вблизи (5–10 м) дорожного полотна.

Максимальные значения экологических нагрузок соединений азота в зимний период на улицах общегородского, районного и местного значения составили  $0,21 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$ ,  $0,17 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$  и  $0,085 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$  соответственно. Такие нагрузки по соединениям азота испытывают в основном придорожные территории на расстоянии до 15 м от дороги. В летний период экологические нагрузки по соединениям азота в 3–3,5 раза выше, чем в зимний период года для улиц общегородского, районного и местного значения и составили соответственно:  $0,64$ ;  $0,61$  и  $0,29 \text{ т/км}^2 \cdot \text{сезон}$  (таблица 4). Кроме того, соединения азота оказывают максимальные экологические нагрузки на придорожную территорию, расположенную в 5–10 м от дорожного полотна. При увеличении расстояния нагрузка снижается в 1,5–2 раза.

Сравнение полученных нами данных по экологической нагрузке соединений серы и азота за год (таблица 5) с существующими критическими нагрузками по соединениям серы и азота (таблица 1) позволяет провести ранжирова-

ние придорожных территорий улиц города Оренбурга.

Так, по нагрузкам соединений азота 28% площади придорожных территорий улиц характеризуются относительно благополучной экологической обстановкой ( $N < 0,28$ ), а на 72% – складывается критическая экологическая ситуация ( $0,3 < N < 1$ ).

По соединениям серы 74% площади улиц города следует отнести к зоне с критической экологической ситуацией ( $0,32 < N < 3$ ) и 26% – к зоне с чрезвычайной экологической обстановкой ( $3 \leq N \leq 5$ ).

Таким образом, оценку качества придорожной зоны лучше проводить по суммарной нагрузке загрязняющих веществ и/или коэффициенту превышения этих нагрузок над фоновыми. Причем суммарные экологические нагрузки позволяют провести ранжирование придорожной территории улиц промышленного города по уровню экологического неблагополучия, а по коэффициенту превышения нагрузок можно осуществить выбор приоритетных примесей и оценить процесс трансформации экосистемы.

Таблица 4. Коэффициенты превышения экологических нагрузок на улицах разного назначения

Классификация улиц	Названия улиц	Значения коэффициента превышения экологических нагрузок											
		по соединениям азота				по соединениям серы				по взвешенным веществам			
		5 м	10 м	15 м	25 м	5 м	10 м	15 м	25 м	5 м	10 м	15 м	25 м
Улицы общегородского значения	Володарского	3,2	5,6	2	1,6	6,2	5,2	8,7	6	14,5	7,2	5,7	5,5
	Гагарина	3,2	1,6	7,2	5,2	7,2	6,3	7,1	6,3	21,8	22,3	8,4	4,8
	Пр. Победы (1)	2,6	2,6	6	4,7	5,6	6	5,9	5,5	39,8	21,6	38,2	17,9
	Пр. Победы (2)	1,6	5,7	6,5	5,6	6,3	6,7	6,7	5,7	17,7	10,4	13,3	14,7
	Терешковой (1)	2,8	1,9	7,8	6,3	6,1	6,8	6,5	5,8	26	25,9	12,5	5,9
	Терешковой (2)	4,1	8,2	4,2	3,5	7	6,4	7,6	5,7	12,5	12,7	12,5	11,8
	Терешковой (3)	2,4	3,4	5	4	6,4	5,9	7,2	6,2	9	9,5	6,6	5,7
Улицы районного значения	Чкалова	6,8	5,9	4,4	2,4	5,1	5,9	8,1	6,1	21,9	27,8	13,6	10
	Салмышская	2,8	5,3	2,1	1,5	5,4	5,2	5,5	6,6	13,5	9,3	8,3	7,8
Улицы местного значения	Шевченко	6,6	2,1	7,5	2,1	8	7,8	6,5	6,6	51,5	51,1	11,3	8,2
	Юн. Ленинцев	2,4	3,5	1,9	1,9	4,5	4,3	4,4	4,5	2,6	2,3	1,4	1,3

Таблица 5. Влияние расстояния на экологические нагрузки соединений серы и азота

Классификация улиц	Названия улиц	Значения экологических нагрузок соединений азота, т/км <sup>2</sup> год, на различном расстоянии от дороги, м				Значения экологических нагрузок соединений серы, т/км <sup>2</sup> год, на различном расстоянии от дороги, м					
		5	10	15	25	5	10	15	25		
		Контроль				0,104				0,455	
Улицы общегородского значения	Володарского	0,33	0,59	0,21	0,17	2,84	2,38	3,98	2,72		
	Гагарина	0,33	0,17	0,75	0,55	3,29	2,9	3,25	2,89		
	Пр. Победы (1)	0,27	0,27	0,63	0,49	2,55	2,73	2,7	2,5		
	Пр. Победы (2)	0,17	0,6	0,68	0,59	2,9	3,07	3,05	2,6		
	Терешковой (1)	0,29	0,2	0,81	0,66	2,79	3,1	2,96	2,67		
	Терешковой (2)	0,43	0,85	0,44	0,37	3,2	2,92	3,48	2,62		
	Терешковой (3)	0,25	0,36	0,52	0,42	2,91	2,69	3,3	2,84		
Улицы районного значения	Чкалова	0,71	0,62	0,46	0,25	2,32	2,68	3,71	2,8		
	Салмышская	0,3	0,55	0,22	0,16	2,49	2,39	2,52	3,02		
Улицы местного значения	Шевченко	0,69	0,22	0,78	0,22	3,66	3,58	2,98	3,03		
	Юн. Ленинцев	0,25	0,37	0,2	0,2	2,04	1,96	2,03	2,04		

**Список использованной литературы:**

1. Комаров В.Г., Шундров С.Ю. Экология и автомобиль // ЭкиП, 1996. – №8. – С.36-42.
2. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природо пользование в России. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 567 с.
3. Илькун Г.М. Загрязнение атмосферы и растения. – Киев: Наук. думка, 1978.– 147 с.
4. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. – Изд-во ЛГУ, 1982. – 366 с.
5. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно – транспортная экология: Учебник для вузов, под ред. Луканина В.Н.– М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.
6. Негативное воздействие автотранспорта на состояние окружающей среды и здоровье человека. – М.: Минтранс России, 2001.
7. Коссой Ю.М. Городской транспорт в зеркале экологии // Энергия: экономика, техника, экология. – 2001. – №1. – С. 64-68.