

\* \* \*

УДК 502.05/31:504.05:574.21:581.5:631.4

DOI 10.17816/snv202113

Статья поступила в редакцию 09.04.2020

## ФАКТОРЫ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ И АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ В ГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

© 2020

**Ларионов Максим Викторович**, доктор биологических наук, доцент,  
профессор кафедры биологии и экологии

*Балашовский институт (филиал) Саратовского национального исследовательского государственного  
университета имени Н.Г. Чернышевского (г. Балашов, Саратовская область, Российская Федерация)*

**Ларионов Николай Викторович**, кандидат биологических наук, директор

*Котельниковская средняя общеобразовательная школа № 2*

*(г. Котельники, Московская область, Российская Федерация)*

**Громова Татьяна Сергеевна**, аспирант кафедры ботаники и экологии

**Сираева Ирина Салаватовна**, аспирант кафедры ботаники и экологии

**Ермоленко Анна Сергеевна**, аспирант кафедры ботаники и экологии

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского  
(г. Саратов, Российская Федерация)*

**Володькин Алексей Анатольевич**, кандидат сельскохозяйственных наук,

доцент кафедры растениеводства и лесного хозяйства

*Пензенский государственный аграрный университет (г. Пенза, Российская Федерация)*

**Левкина Галина Валерьевна**, кандидат сельскохозяйственных наук,

доцент кафедры промышленной экологии и техносферной безопасности

*Брянский государственный инженерно-технологический университет (г. Брянск, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В статье представлены данные об особенностях и мощности деградации качества почв, атмосферного воздуха и растений в городских и пригородных территориях Нижнего и Среднего Поволжья, Центрального Черноземья. Цель – представить и подвергнуть анализу данные экомониторинга почв, атмосферы и растений. На примере Саратовской, Воронежской и Пензенской областей установлены значения состояния наземных экосистем на разных вариантах почв и почвогрунтов. Преимущественное положение по площади и хозяйственному использованию занимают преобразованные в ходе градостроительства почвы, а также искусственные грунты. Большое значение в деградации почвенного покрова имеют уплотнение, антропогенные включения, замусоренность, загрязнение тяжелыми металлами. В аэротехногенном загрязнении существенная роль заключена в образовании и осаждении пыли на листовую поверхность растений. Биоиндикационными признаками в анализе состояния окружающей среды и экологических систем служили показатели жизнеспособности, состояния и устойчивости деревьев и кустарников. Они получены по средневзвешенным данным исследований и последующей оценки жизненного состояния. Отдельно рассмотрены показатели деградации ассимиляционных органов древесных растений в зависимости от уровней неблагоприятных почвенно-экологических и аэрогенных условий в городских и пригородных экосистемах изученных регионов. Значимость деградации объектов окружающей среды проанализированными антропогенными факторами заключена в результатах корреляционного анализа.

**Ключевые слова:** городские экосистемы; пригородные экосистемы; деградация почв; деградация грунтов; загрязнение тяжелыми металлами; загрязнение пылью; индекс жизненного состояния; повреждение листьев; территории экологической напряженности; корреляция; Нижнее Поволжье; Среднее Поволжье; Центральное Черноземье.

### Введение

В наши дни вопросы, связанные с определением и оценкой состояния объектов окружающей среды, являются актуальными [1–3]. В особенности это относится к местам функционирования природных и искусственных экосистем городских и пригородных территорий. В оценке экологических условий для развития фитоценозов большое значение представляют данные мониторинга состояния почв, структурообразующих (фитоценозообразующих) организмов и атмосферного воздуха.

Известно, что деградация окружающей среды негативным образом сказывается на морфологических, анатомических и физиологических особенностях растений [4–7]. Деградационные явления в почвах

и воздухе могут лимитировать жизненное состояние и устойчивость древесных растений, снижать их биоресурсный, биоклиматический и средооптимизационный потенциал. Для городских и пригородных фитоценозов данное обстоятельство приобретает первоочередное значение в утрате ими санитарно-экологических, планировочных и социальных функций.

Определение особенностей деградации почв, атмосферы и растений в городских и пригородных экосистемах представляет сейчас актуальную научную задачу в регионах Нижнего и Среднего Поволжья, Центрального Черноземья. Значения ослабления растительных организмов в условиях природно-хозяйственных комплексов представляют биоиндикационные признаки по отношению к местам их обитания.

В городах и пригородах данных географических регионов экологический мониторинг, включительно биоиндикация, объективно необходим для получения современных сведений о негативных экологических явлениях в объектах окружающей среды.

#### Методы исследований

Типы почв определялись посредством сплошного обследования городских и пригородных территорий с использованием актуальных методических материалов [8; 9]. С помощью общепризнанных методов экологического почвоведения определялись уплотненность почв, количество антропогенных включений: каменистость, замусоренность поверхности почв и травянистого покрова [9]. Пылевое загрязнение воздуха и древесных растений (*Sorbus aucuparia* L., *Betula pendula* Roth, *B. alba* L., *Fraxinus excelsior* L., *Acer platanoides* L., *A. campestre* L., *A. tataricum* L., *A. ginnala* Maxim., *Malus sylvestris* (L.) Mill., *Quercus robur* L., *Padus avium* Mill., *Populus tremula* L., *P. nigra* L., *Salix alba* L., *S. caprea* L., *S. acutifolia* Willd., *S. pentandra* L., *S. triandra* L., *S. fragilis* L., *Ulmus laevis* Pall., *U. minor* Mill., *U. glabra* Hudson, *Pinus sylvestris* L., *Prunus spinosa* L., *P. domestica* L., *Cerasus vulgaris* Mill., *C. fruticosa* Pall., *Tilia cordata* Mill.) устанавливалось методом взвешивания образцов листьев до и после смыва [10; 11]. Концентрации тяжелых металлов устанавливались атомно-абсорбционным методом [12; 13]. Индекс жизненного состояния (ИЖС) устанавливался по методике оценки состояния представителей этих видов растений [14] и по эколого-дендрологическим рекомендациям применительно для городской среды [15; 16]. Детальному анализу подвергнуты уровни поврежденности листьев с использованием удобного в лесоводстве, ботанике и эко-

гии растений метода [17–19]. В обработке материалов использованы методы математической статистики [20; 21]. Все эколого-диагностические данные получены в 5%-м диапазоне точности.

#### Результаты и их обсуждение

В ходе обследований пригородных территорий установлено, что они преимущественно представлены природными почвами с признаками хозяйственной трансформации вследствие дорожно-тропиночных, рекреационных, сенокосных и пастбищных нагрузок. Также в ряде мест, особенно в непосредственных пригородных зонах, имеются урбанопочвы и урбаноземы (около жилищ, хозяйственных и производственных объектов). Непосредственно в городах наземная растительность развивается на урбанопочвах, урбаноземах, урбанотехноземах, реплантоземах, культуроземах. Незначительно в некоторых специальных зонах встречаются некроземы.

Реализованный мониторинг в 2011–2019 гг. позволил получить результаты, представленные в виде таблиц 1–4. В них первые три столбца содержат данные о деградации почвенного покрова, причем третьи столбцы – также и о деградации травяного покрова. Последние два столбца отражают экологические показатели состояния древесных растений, составляющих основу вертикальной и экологической структуры фитоценозов урбосистем Нижнего и Среднего Поволжья, Центрального Черноземья.

В таблице 1 содержатся среднестатистические результаты определения экологического состояния почв, приземного воздуха и растений в городских и пригородных экосистемах г. Балашова Саратовской области.

**Таблица 1** – Показатели деградации окружающей среды и экологического состояния древесных растений г. Балашова

Экологические показатели окружающей среды и растений	Уплотнение почв, г/см <sup>3</sup>	Каменистость почв, %	Захламленность почв и травяного покрова, %	Пыль на листьях, г/см <sup>2</sup>	ИЖС древесных растений, %	Поврежденность листьев древесных растений, %
Контроль (природные почвы)	1,18	4,6	5,1	0,003	83,4	4,8
Урбанопочвы	1,25	12,5	18,2	0,014	72,1	15,4
Урбаноземы	1,34	17,3	35,6	0,018	65,5	25,2
Культуроземы	1,14	8,1	16,4	0,005	78,2	7,3
Урбанотехноземы	1,46	39,4	27,5	0,022	61,3	33,8
Реплантоземы	1,28	15,5	13,1	0,011	67,4	21,9
Некроземы	1,22	18,3	19,2	0,008	74,6	12,5
Средние значения по городу	1,27	16,5	19,3	0,012	71,8	17,3

В среднем по городу установлена слабая уплотненность почв (по оценочным критериям: 1,2–1,4 г/см<sup>3</sup> [9]), равная 1,27 г/см<sup>3</sup>. Выше этого значения имеют урбаноземы, реплантоземы, характеризующиеся аналогичной категорией состояния. Урбанотехноземы, испытывающие наибольшее давление среди остальных городских грунтов, характеризуются средней уплотненностью (1,46 г/см<sup>3</sup>). Минимально уплотнены культуроземы (1,14) и природные почвы (1,18 г/см<sup>3</sup>).

Каменистость почв и почвогрунтов составляет 16,5%. Это средневзвешенный слабый уровень данного вида техногенной деградации почвенного покрова. При этом культуроземы обладают низким уплотнени-

ем (8,1%), большинство остальных типов грунтов – слабым уплотнением (в диапазоне диагностической категории 10–25% [9]). Лишь урбанотехноземы являются среднеуплотненными: 39,4%. Низкая каменистость у культуроземов (8,1), природных почв (4,6%).

Во всех вариантах установлена слабая захламленность почв и травяного покрова (согласно соответствующей категории деградации: 10–25% [9]). Поэтому среднее арифметическое значение захламления почв и травянистой растительности также характеризуется слабым уровнем деградации: 19,3%. Низкая замусоренность лишь на территориях с сохранившимися природными почвами (5,1%).

Минимально загрязнение приземного воздуха пылью происходит в сельскохозяйственных зонах, расположенных преимущественно на культуросах (0,005) и на территориях кладбищ (0,008 г/см<sup>2</sup> листьев деревьев и кустарников). На остальных территориях уровни загрязнения воздуха пылью достоверно выше. Максимальные его средние значения достигают в местах расположения урбанотехноземов (0,022), урбаноземов (0,018) и урбанопочв (0,014 г/см<sup>2</sup> листьев древесных растений). Древесные растения, растущие на таких грунтах, прежде всего листья и побеги, безусловно, испытывают существенное угнетение.

Среднее значение ИЖС древесных растений соответствует слабому повреждению: 71,8%. Превышают это значение растения, произрастающие на урбанопочвах (72,1%), некрозомах (74,6%). Выше всего виталитет у растений на культурных почвогрунтах: 78,2%. Минимальные уровни виталитета характерны для древесных растений, произрастающих на урбанотехнозомах (61,3), урбаноземах (65,5), реплантозомах (67,4%). На этих почвогрунтах древесные растения также характеризуются минимальной степенью ослабления (согласно числовым значениям в рамках диагностического критерия: ИЖС = 50–79% [9]). Относительно здоровое состояние у древесных растений, произрастающих только на участках с природными почвами (83,4%).

Среднеарифметический показатель повреждения листьев древесных растений диагностирован на слабом уровне: 17,3% от общей площади листовых пластинок. Выше него установлены средние арифметические показатели поврежденности листьев растений, растущих на урбаноземах (25,2), урбанотехнозомах (33,8), реплантозомах (21,9%). Эти значения также показывают слабый уровень повреждения листьев древесных растений в городских и пригородных экосистемах. Тем не менее налицо явная деградация ассимиляционных органов данных организмов в исследованных сообществах. Минимальный (низкий) уровень деградации листьев установлен у растений, обитающих на культуросах (7,3) и на природных почвах (4,8%).

Вычисление коэффициентов корреляции позволило определить наиболее значимые деградационные факторы почвенной и воздушной среды в ослаблении растительных организмов. Коэффициенты корреляции между показателями деградационных условий почвенной среды и жизненностью древесных рас-

тений составили: в районе урбанотехноземов  $r = 0,88$  (фактор уплотнения),  $r = 0,84$  (фактор каменистости),  $r = 0,79$  (фактор захламленности); в районе урбаноземов  $r = 0,85$  (фактор уплотнения),  $r = 0,81$  (фактор каменистости),  $r = 0,76$  (фактор захламленности); в районе реплантоземов  $r = 0,78$  (фактор уплотнения),  $r = 0,73$  (фактор каменистости),  $r = 0,68$  (фактор захламленности). Видно, что во всех выше указанных случаях, кроме последнего, установлена сильная статистическая зависимость.

Между запыленностью приземной атмосферы и жизненностью древесных растений, а также между данным видом атмосферного загрязнения и процентами поврежденности листьев этих организмов выявлена сильная корреляция, варьирующая в пределах: от 0,91 (территории с урбанотехнозомами) до 0,75 (территории с реплантозомами) по первой паре сравниваемых признаков, от 95 (территории с урбанотехнозомами) до 0,79 (территории с реплантозомами) по второй паре сравниваемых санитарно-экологических показателей.

Также установлена высокая корреляция показателей жизненности представителей анализируемой группы растений с содержанием ТМ в почвогрунтах: при средневзвешенном содержании Pb 77,5 мг/кг  $r = 0,94$ , при содержании Zn 138,4 мг/кг  $r = 0,87$  (урбанотехнозома); при содержании Pb 43,2 мг/кг  $r = 0,89$ , при содержании Zn 81,5 мг/кг  $r = 0,83$  (урбанозема); при содержании Pb 30,6 мг/кг  $r = 0,77$ , при содержании Zn 63,4 мг/кг  $r = 0,72$  (реплантозома).

В остальных случаях между факторами деградации почвенного покрова, воздушного бассейна и экологическим состоянием древесных растений корреляция средняя и слабая. Ее наличие показывает о значении техногенно-деградационного характера состояния окружающей среды в данном урбано-районе.

Все значения экологических показателей в г. Балашове оказались выше контрольных значений.

По г. Борисоглебску Воронежской области получены и обработаны данные, представленные в табл. 2.

Этот населенный пункт характеризуется незначительным (слабым) уплотнением: 1,23 г/см<sup>3</sup>. В наибольшей мере уплотнение выявлено для урбаноземов (1,28), реплантоземов (1,25) и особенно для урбанотехноземов (1,34 г/см<sup>3</sup>). Минимальным уплотнением отличаются культуросы (1,13), природные почвы (1,16 г/см<sup>3</sup>).

**Таблица 2** – Показатели деградации окружающей среды и экологического состояния древесных растений г. Борисоглебск

Экологические показатели окружающей среды и растений	Уплотнение почв, г/см <sup>3</sup>	Каменистость почв, %	Захламленность почв и травяного покрова, %	Пыль на листьях, г/см <sup>2</sup>	ИЖС древесных растений, %	Поврежденность листьев древесных растений, %
Контроль (природные почвы)	1,16	3,9	4,7	0,002	87,3	4,3
Урбанопочвы	1,22	10,7	14,1	0,012	74,6	12,7
Урбаноземы	1,28	15,2	30,8	0,015	67,8	22,3
Культуросы	1,13	6,8	14,8	0,003	82,5	8,5
Урбанотехнозома	1,34	34,3	25,2	0,020	64,8	30,6
Реплантозома	1,25	13,1	10,9	0,009	70,3	18,4
Некрозома	1,20	14,8	15,3	0,006	77,2	9,1
Средние значения по городу	1,23	14,1	16,5	0,010	74,9	15,1

В среднем количество антропогенных включений соответствует слабому значению: 14,1%. Наиболее значим фактор каменистости для урбаноземов (1,28), реплантоземов (1,25) и прежде всего для урбанотехноземов (1,34%). В меньшей степени он проявляется в культуроземах (6,8) и природных почвах (в них каменистость составляет 3,9%).

Среднеарифметический показатель захламлиенности – 16,5% – для Борисоглебска соответствует слабому санитарно-экологическому оценочному критерию для почв и грунтов, а также для сообществ травянистых растений. Большинству городских грунтов также соответствует слабая захламлиенность. Исключение составляют грунты со средней степенью замусоренности – урбаноземы (30,8), урбанотехноземы (25,2), а также природные почвы с низким средним значением этого санитарно-экологического показателя (4,7%).

Пылевое загрязнение приземной атмосферы существенно для этого поселения. В среднем, в осаждаемом на листьях деревьев и кустарников виде оно составляет 0,010 г/см<sup>2</sup>. Количества осевшей пыли выше среднего значения по городу характерны древесных растениям, растущим на урбанотехноземах (0,020), урбаноземах (0,015), урбанопочвах (0,012 г/см<sup>2</sup>). В остальных случаях установлены существенно меньшие среднестатистические значения пылевого загрязнения приземного воздуха и древесных растений.

Ослабленная жизненность характерна для древесных растений, произрастающих в экосистемах города и пригородных территорий на разных грунтах. Среднее арифметическое значение по Борисоглебску составляет 74,9%. Лишь на природных почвах древесные растения проявляют нормальный виталитет: 87,3%. Наибольшие значения ослабления древесных растений выявлены для территорий с урбаноземами (67,8) и урбанотехноземами (64,8%).

В частности, непосредственно по поврежденности листьев деревьев и кустарников можно констатировать следующее. В среднем по изученным городским и пригородным экосистемам города листья подвержены техногенной деградации в пределах 15,1% от их площади. То есть установлена начальная граница умеренного уровня деградации ассимиляционных органов данной группы растительных организмов. Ниже этого значения установлены показатели поврежденности листьев растений, растущих на урбанопочвах (12,7), некроземах (9,1), культуроземах (8,5), природных почвах (4,3%). В остальных вариан-

тах листья деревьев и кустарников повреждены на среднем уровне. При этом максимально эти органы повреждены на растениях, основным субстратом которых являются грунты с преимущественным участием урбаноземов (22,3) и урбанотехноземов (30,6%).

Корреляционный анализ установил сильную, среднюю и слабую взаимосвязь между деградирующими явлениями окружающей среды и состоянием древесных растений. Сильная корреляция выявлена между параметрами деградации грунтов и ЖС древесных растений: в районе урбанотехноземов  $r = 0,96$  (фактор уплотнения),  $r = 0,93$  (фактор каменистости),  $r = 0,85$  (фактор захламлиенности); в районе урбаноземов  $r = 0,82$  (фактор уплотнения),  $r = 0,77$  (фактор каменистости),  $r = 0,71$  (фактор захламлиенности). В районе размещения реплантоземов корреляция (средний уровень связи) между значениями этих эколого-диагностических категорий составила:  $r = 0,67$  (фактор уплотнения),  $r = 0,64$  (фактор каменистости),  $r = 0,59$  (фактор захламлиенности). В остальных случаях характерны средний и слабый уровни статзависимости.

Загрязнение воздуха (и поверхности ассимиляционных органов) пылью сказывается на ослаблении ЖС древесных растений и особенно на повреждаемости их листьев. Корреляционная зависимость варьирует от сильного значения до слабого: от 0,89 (территории с урбанотехноземами) до 0,85 (территории с реплантоземами) по первой паре сравниваемых признаков, от 0,92 (территории с урбанотехноземами) до 0,82 (территории с реплантоземами), соответственно, по второй паре сравниваемых санитарно-экологических показателей. В анализируемых вариантах экологических показателей территорий с остальными типами грунтов вычислены коэффициенты корреляции в среднем и слабом диапазоне взаимосвязей.

Результаты экологического мониторинга биокосных, косных и биотических объектов окружающей среды г. Поворино Воронежской области представлены в следующей таблице.

Уплотнение почв и грунтов этого населенного пункта, согласно среднестатистическому значению 1,18 г/см<sup>3</sup>, соответствует нормальной степени деградации этим совокупным антропогенным фактором. Это критериальные значения деградации характерно для большинства типов грунтов в городских и пригородных экосистемах. Максимальные показатели уплотненности (на слабом уровне) выявлены для таких почвогрунтов, как урбаноземы (1,22), урбанотехноземы (1,28), реплантоземы (1,20 г/см<sup>3</sup>).

**Таблица 3** – Показатели деградации окружающей среды и экологического состояния древесных растений г. Поворино

Экологические показатели окружающей среды и растений	Уплотнение почв, г/см <sup>3</sup>	Каменистость почв, %	Захламленность почв и травяного покрова, %	Пыль на листьях, г/см <sup>2</sup>	ИЖС древесных растений, %	Поврежденность листьев древесных растений, %
Контроль (природные почвы)	1,13	4,4	6,3	0,001	85,5	3,7
Урбанопочвы	1,19	9,6	12,8	0,01	78,2	9,5
Урбаноземы	1,22	10,1	22,5	0,013	74,3	16,9
Культуроземы	1,09	6,2	12,2	0,002	83,5	6,7
Урбанотехноземы	1,28	24,1	19,6	0,016	72,9	25,1
Реплантоземы	1,20	8,4	9,5	0,007	75,4	11,7
Некроземы	1,13	9,8	11,1	0,003	81,1	8,4
Средние значения по городу	1,18	10,4	13,4	0,007	78,7	11,7

В Поворино среднестатистическая каменистость почв и грунтов – слабая (нижняя граница данной диагностической категории): 10,4%. Выше этого значения каменистость характерна лишь урбанотехноземам (24,1%). В остальных вариантах почвогрунты обладают слабой и низкой насыщенностью антропогенными включениями.

Захламленность почвенного и травяного покрова слабая: среднеарифметическое значение по городу – 13,4%. Превышает это значение показатели захламленности поверхностей урбаноземов (22,5) и урбанотехноземов (19,6%), которые также демонстрирует слабый уровень деградации по данному фактору.

Средневзвешенное значение загрязнения пыли по городу и пригородным районам достигает 0,007 г/см<sup>2</sup> листовой поверхности. В наибольшей степени данному виду аэрогенного загрязнения подвергаются деревья и кустарники, растущие на урбанотехноземах (0,016), урбаноземах (0,013), урбанопочвах (0,01 г/см<sup>2</sup> площади листьев).

Относительно здоровая жизненность установлена у древесных растений, субстратами которых являются некроземи (81,1), культуросеми (83,5) и участки с сохранившимися почвами (85,5%). В остальных вариантах состояние древесных растений оценено как незначительно ослабленное. Такое же диагностическое значение характерно для растений в экосистемах города и пригородных территорий: ИЖС = 78,7%.

Средний арифметический показатель поврежденной площади листьев составляет 11,7%. Это низкое значение техногенной деградации ассимиляционных органов деревьев и кустарников. Превышен данный показатель лишь у древесных растений, развивающихся на урбанотехноземах: 25,1%. Минимальное повреждение листьев отмечено у растений, произрастающих в составе фитоценозов на культуросемах (6,7), некроземах (8,4), природных почвах (3,7%).

Между значениями деградации почвогрунтов и ЖС древесных растений определены следующие значения корреляции: на урбанотехноземах  $r = 0,74$  (фактор уплотнения),  $r = 0,85$  (фактор каменистости),  $r = 0,73$  (фактор захламленности); на урбаноземах  $r = 0,71$  (фактор уплотнения),  $r = 0,65$  (фактор каменистости). Сила связи между данными экологическими показателями далее на других территориях достоверно ниже.

Между объемами запыления и состоянием этих растений также существует корреляционная зависимость с разной силой. При этом сильная корреляция – между концентрациями пыли, ЖС и поврежденностью листьев в районе расположения следующих категорий почв:  $r = 0,78$  (урбанотехноземи),  $r = 0,69$  (реплантоземи) по первой паре показателей;  $r = 0,93$  (урбанотехноземи),  $0,71$  (реплантоземи) по второй паре признаков. Меньшие значения коэффициента корреляции в пределах среднего диапазона и слабая корреляция характерны для районов, на которых расположены остальные типы грунтов.

Таблица 4 заключает в себе среднестатистические показатели состояния почв, атмосферы и растений в городских и пригородных экологических системах г. Сердобска Пензенской области.

Данный город отличается средней уплотненностью почв и грунтов на уровне 1,20 г/см<sup>3</sup>, что означает верхнюю границу нормального значения этого вида антропогенной деградации почвенного покрова. Урбаноземи (1,25), в особенности урбанотехноземи (1,30) и еще реплантоземи (1,22 г/см<sup>3</sup>), являются слабоуплотненными грунтами в городе и в его пригородах.

Средний уровень почвенных антропогенных включений – слабый. Он достигает 11,6%. Лишь в одном случае уровень каменистости превышает среднее значение по Сердобску: в урбанотехноземах содержание камней, щебня и других антропогенных включений равняется 27,8%. Низкая каменистость выявлена в культуросемах (7,5), урбанопочвах (8,4) и природных почвах (4,2%).

Захламленность почвенного и травянистого покрова – слабая. Она равна 14,8%. Превышение этого значения характерно урбанопочвам (захламление составляет 15,3%), урбаноземам (26,2%), урбанотехноземам (22,7%).

В среднем по городу и пригороду на листьях деревьев и кустарников оседает 0,009 г/см<sup>2</sup> пыли. В трех вариантах установлено превышение этого санитарно-экологического показателя: на листьях растений оседает пыль в местах произрастания на урбанопочвах – 0,012, урбаноземах – 0,015, урбанотехноземах – 0,019 г/см<sup>2</sup>. Самым малым уровнем пылевого загрязнения характеризуются приземная атмосфера и ассимиляционные органы древесных растений в местах расположения сохранившихся природных почв.

**Таблица 4** – Показатели деградации окружающей среды и экологического состояния древесных растений г. Сердобск

Экологические показатели окружающей среды и растений	Уплотнение почв, г/см <sup>3</sup>	Каменистость почв, %	Захламленность почв и травяного покрова, %	Пыль на листьях, г/см <sup>2</sup>	ИЖС древесных растений, %	Поврежденность листьев древесных растений, %
Контроль (природные почвы)	1,15	4,2	4,4	0,002	86,1	4,1
Урбанопочвы	1,20	8,4	15,3	0,012	76,8	13,2
Урбаноземи	1,25	11,6	26,2	0,015	71,3	19,5
Культуросеми	1,11	7,5	13,9	0,003	84,9	7,9
Урбанотехноземи	1,30	27,8	22,7	0,019	68,3	26,5
Реплантоземи	1,22	10,5	7,6	0,009	73,5	15,7
Некроземи	1,18	11,2	13,5	0,006	82,4	10,5
Средние значения по городу	1,20	11,6	14,8	0,009	77,6	13,9

ИЖС древесных растений в среднем по данному урбанизированному району равен 77,6%. То есть древесные растения в условиях городских и пригородных экосистем обладают экологическим состоянием на уровне незначительного ослабления. Относительно здоровое состояние характерно для растений, произрастающих на культуросемах (84,9), некроземах (82,4%). На грунтах с преимущественным участием урбанотехноземов древесные растения ослабляются до уровня 68,3%.

Непосредственно поврежденность листьев древесных растений является низкой: в среднем по городу она достигает 13,9% от площади этих органов. В трех случаях установлены превышения этого значения: деградация листьев растений на урбаноземах достигает 19,5%, урбанотехноземах – 26,5 (максимальная степень повреждения), реплантоземах – 15,7%. В меньшей мере повреждаются листья деревьев и кустарников, растущих на культурных грунтах (7,9%) и в составе фитоценозов, образованных на природных почвах (4,1%).

Значения корреляционной связи выглядят следующим образом. Сильная корреляционная зависимость характерна показателям деградации грунтов и виталитета рассматриваемых растений на таких территориях: в районе расположения урбанотехноземов  $r = 0,84$  (фактор уплотнения),  $r = 0,81$  (фактор каменистости),  $r = 0,79$  (фактор захламленности); в районе урбаноземов  $r = 0,75$  (фактор уплотнения),  $r = 0,74$  (фактор каменистости). На остальных территориях с соответствующими типами почвогрунтов корреляция установлена средняя и слабая.

Аэрогенное загрязнение пылью лимитирует жизнеспособность, нормальное функционирование и развитие листьев у древесных растений, как и на примерах предыдущих городов.

Коэффициенты корреляции между содержанием пыли, ЖС и повреждениями листьев распределены таким образом: от  $r = 0,84$  (урбанотехноземы) до  $r = 0,81$  (реплантоземы) по первой паре показателей, от  $r = 0,87$  (территории с урбанотехноземами) до  $0,75$  (территории с реплантоземами) по второй паре признаков. Здесь видно, что статзависимость сильная. На территориях с остальными типами грунтов корреляционная зависимость средняя и слабая.

Высокая и средняя корреляция определены между показателями жизнеспособности растений и концентрациями ТМ в почвогрунтах: при среднем содержании Pb 62,2 мг/кг  $r = 0,85$ , при содержании Zn 105,3 мг/кг  $r = 0,81$  (урбанотехноземы); при содержании Pb 36,8 мг/кг  $r = 0,78$ , при содержании Zn 67,1 мг/кг  $r = 0,74$  (урбаноземы); при содержании Pb 26,5 мг/кг  $r = 0,68$ , при содержании Zn 53,7 мг/кг  $r = 0,63$  (реплантоземы).

#### Заключение

По существу, выполненные исследования позволили установить средневзвешенные значения последствий деградационных процессов в почвенном покрове, атмосферном воздухе. Установлено также, каким образом они сказываются на ингибировании развития и ослаблении состояния древесных растений.

Наибольшие уровни антропогенной деградации выявлены на территориях с урбаноземами, урбанотехноземами, реплантоземами. Об этом свидетельствуют результаты почвенного мониторинга.

Деградационные факторы – уплотнение, каменистость и захламление почв – оказывают угнетающее воздействие на древесные растения, вызывая их ослабление, падение устойчивости, нарушения в процессах развития. В пределах данных типов почвогрунтов установлена положительная высокая и средняя корреляция со значениями ИЖС и поврежденности листьев древесных растений.

Загрязнение приземной атмосферы пылью также является существенным деградирующим условием по отношению к окружающей среде и растениям. В районе расположения урбаноземов, урбанотехноземов, реплантоземов наблюдается повышение значений поврежденности листьев деревьев и кустарников в сравнении с другими территориями. В районах расположения этих типов почвогрунтов установлены положительные корреляционные зависимости на среднем и высоком уровне.

Наиболее агрессивные антропогенные условия складываются в пределах транспортных, производственных, коммунально-складских зон, где доминируют урбанотехноземы, а также урбаноземы, реплантоземы. Это объясняется интенсивным характером городского природопользования, недостаточностью мер по уходу за территориями, а также комплексным, негативным по проявлению техносферным фактором. Для рассмотренных в данной статье поселений фитоценозы на таких грунтах наиболее хрупкие и уязвимые.

Наиболее ослабленные деревья и кустарники (с ИЖС ниже 49% и поврежденностью ассимиляционных органов от 16 до 50%) обнаружены как раз на этих грунтах, расположенных вблизи перекрестков автодорог и остановок транспорта по ходу их следования, автозаправочных, авторемонтных мастерских, шиномонтажей, предприятий, объектов теплостроительной промышленности. Поэтому очевидна необходимость мер по охране и улучшению состояния древесных растений и фитоценозов в целом на городских и пригородных территориях района исследований.

Средние арифметические значения состояния древесных растений, произрастающих на разных типах почв в районе исследований, представляют биоиндикационные показатели состояния экосистем и качества окружающей среды на городских и пригородных территориях. Наиболее высокая поврежденность листьев и, в целом, наиболее сниженные параметры виталитета деревьев и кустарников, определенного посредством среднеарифметических значений ИЖС, установлены в местах нахождения урбаноземов, реплантоземов и особенно наиболее деградированных грунтов – урбанотехноземов. Корреляционный анализ установил среднюю и тесную (высокую) зависимость среднестатистических показателей ослабления древесных растений от рассмотренных в статье деградационных факторов в районах расположения этих грунтов. В условиях пригородных экосистем, образованных на сохранившихся природных почвах и урбанопочвах, величины ИЖС древесных растений оказались ниже в среднем на 5–8% по сравнению с городскими экосистемами.

Результаты исследований, их статобработка и анализ показали очевидность деградационных процессов в биокосных, косных и биотических компонентах экосистем района исследований, особенно в городах Балашове (Саратовская область), Борисо-

глубеке (Воронежская область) и Сердобске (Пензенская область). Применительно к этим объектам окружающей среды требуется организовать перманентный госэкомониторинг.

Кроме того, полученные описанным выше образом результаты биомониторинга четко свидетельствуют о локализации территорий экологического напряжения в следующих функциональных зонах: транспортных, производственных, коммунально-складских, общественно-деловых. Результаты реализованных экологических исследований показывают, что на этих территориях почвенная, наземно-воздушная и биотическая среды испытывают наиболее существенный антропогенный пресс со стороны техносферы. Деграционные условия в почвогрунтах, атмосферном воздухе, лимитирование жизнеспособности и экологического состояния древесных растений демонстрируют устойчивую тенденцию ослабления экокаркасов населенных пунктов Нижнего и Среднего Поволжья, Центрального Черноземья.

Результаты и материалы проведенной работы могут образовать справочную, концептуальную и методологическую базу в экоаналитической сфере, в экологическом менеджменте и нормировании антропогенных нагрузок на уровне муниципалитетов и административных районов. Это важно и в градостроительном, градостроительном и в комплексном ландшафтно-экологическом плане.

Основные положения проведенной исследовательской работы и полученные экспериментальные результаты могут быть использованы для организации учебных и производственных практик студентов, научно-исследовательских работ магистрантов, аспирантов, докторантов образовательных и научных учреждений. Кроме этого, собранный и обработанный материал представляет собой научно-методическую значимость для обучающихся школ, учреждений дополнительного и среднего профессионального образования.

### Список литературы:

1. Плешакова Е.В., Зеленова Н.А., Нгун К.Т., Решетников М.В. Влияние на почвенную микробиоту железа, меди и никеля, внесенных в почву отдельно и в различных комбинациях // Поволжский экологический журнал. 2020. № 1. С. 66–85.
2. Трифонова Т.А., Салмин А.С. Использование лишайника *Nuragutnia physodes* в качестве аккумулятивного биоиндикатора техногенного загрязнения атмосферы // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14, № 2. С. 150–163.
3. Трифонова Т.А., Подолец А.А., Селиванов О.Г., Марцев А.А. Оценка загрязнения почв рекреационных территорий промышленного города соединениями тяжелых металлов и мышьяка // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 2. С. 94–101.
4. Амирова З.К., Кулагин А.А., Хакимова А.А. Накопление тяжелых металлов в почве и газонной растительности городской территории (г. Уфа, Россия) // Экология урбанизированных территорий. 2019. № 4. С. 18–26.
5. Васильева К.А., Зайцев Г.А. Особенности роста ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 1. С. 790–792.

6. Кавеленова Л.М., Петрова А.Б., Трубников А.М., Янков Н.В., Савицкая К.А., Кравцева А.П., Антипенко М.И., Кузнецов А.А. К возможностям количественной оценки функциональной активности листовой поверхности различных растений // Самарский научный вестник. 2016. № 4. С. 18–24.

7. Legoshchina O.M., Egorova I.N., Neverova O.A., Bykov A.A., Maltseva E.M., Bolshakov V.V. Features of the morphological and anatomical characteristics of the leaves of *Taraxacum officinale* Wigg. in conditions of rock dump // Ukrainian Journal of Ecology. 2019. Т. 9, № 3. С. 78–83.

8. Строганова М.Н., Агаркова А.Д. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв Юго-Западной части г. Москвы) // Почвовед. 1992. № 7. С. 16–23.

9. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации. М.: Изд-во НИИПИ экол. гор., 2003. 24 с.

10. Сафронова У.А., Аткина Л.И. Накопление пыли на листьях черемухи Маака в городских условиях // Экологические проблемы севера. Архангельск: Изд-во АГТУ. 2010. № 13. С. 24–26.

11. Экологический мониторинг: учеб.-метод. пособие / под ред. Т.Я. Ашихминой. М.: Академ. проект, 2006. 416 с.

12. Методика выполнения измерений массовых концентраций токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом. М.: Союзцветметавтоматика, 2001. 15 с.

13. Самохвалов С.Г., Чеботарев Н.А. Методические указания по атомно-абсорбционному определению микроэлементов в вытяжках из почв и в растворах золы кормов и растений. М.: Изд-во ЦИНАО, 1997. 34 с.

14. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесовед. 1989. № 4. С. 51–57.

15. Шихова Н.С. Оценка жизненного состояния древесных видов в условиях загрязнения среды // Тр. междунар. конф. по анатомии и морфологии растений. СПб.: Диана, 1997. С. 332–333.

16. Шихова Н.С., Полякова Е.В. Оценка жизненного состояния и устойчивости видов в озеленении г. Владивостока // Бюллетень Главного ботанического сада. 2003. № 185. С. 14–27.

17. Бабич Н.А., Залывская О.С., Травникова Г.И. Интродукты в зеленом строительстве северных городов: монография. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 144 с.

18. Кузьмичев Е.П., Соколова Э.С., Мозолевская Е.Г. Болезни древесных растений: справочник. Болезни и вредители в лесах России. Т. 1. М.: Изд-во ВНИИЛМ, 2004. 120 с.

19. Пермяков А.Н., Дулов М.И., Васин В.Г., Толпекин А.А., Зуев Е.В. Методика определения площади листьев с помощью программы определения площади листьев «AreaS». Самара: Изд-во СамарГСХА, Технол. фак., 2002.

20. Математические методы в экологии: учеб. пособие / авт.-сост.: В.Б. Любимов, И.В. Мельников, А.В. Силенок. Брянск: РИО БГУ, 2017. 201 с.

21. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: учеб. пособие. М.: Academia, 2004. 416 с.

## FACTORS OF SOIL AND ATMOSPHERIC AIR DEGRADATION AND THEIR INFLUENCE ON THE STATE OF PLANTS IN URBAN AND SUBURBAN ECOSYSTEMS

© 2020

**Larionov Maxim Viktorovich**, doctor of biological sciences, associate professor,  
professor of Biology and Ecology Department  
*Balashov Institute of Saratov State University (Balashov, Saratov Region, Russian Federation)*

**Larionov Nikolai Viktorovich**, candidate of biological sciences, director  
*Secondary School № 2 of Kotelniki (Kotelniki, Moscow Region, Russian Federation)*

**Gromova Tatyana Sergeevna**, postgraduate student of Botany and Ecology Department

**Siraeva Irina Salavatovna**, postgraduate student of Botany and Ecology Department

**Ermolenko Anna Sergeevna**, postgraduate student of Botany and Ecology Department  
*Saratov State University (Saratov, Russian Federation)*

**Volodkin Aleksey Anatolyevich**, candidate of agricultural sciences,  
associate professor of Plant Production and Forestry Department  
*Penza State Agrarian University (Penza, Russian Federation)*

**Levkina Galina Valerievna**, candidate of agricultural sciences,  
associate professor of Industrial Ecology and Technospheric Safety Department  
*Bryansk State Technological University of Engineering (Bryansk, Russian Federation)*

---

**Abstract.** This paper presents data on characteristics and extent of degradation of soil quality, atmospheric air and plants in urban and suburban areas of the Lower and Middle Volga region, Central Chernozem region. The goal of the research is to analyze and present data of environmental monitoring of soil, atmosphere and plants. On the example of the Saratov, Voronezh and Penza Regions, the values of the state of terrestrial ecosystems on different types of soils are established. The predominant position in terms of area and economic use is occupied by soils transformed in the course of urban development, as well as artificial soils. Compaction, anthropogenic inclusions, littering and heavy metal contamination are of great importance in the degradation of the soil cover. In the air-technogenic pollution, the formation and deposition of dust on the leaf surface of plants plays a significant role. Bioindicative signs in the analysis of the state of the environment and ecological systems were indicators of the viability, condition and stability of trees and shrubs. They are obtained based on average data from the research and subsequent assessment of life status. Separately, the indicators of degradation of woody plants assimilation organs depending on the levels of unfavorable soil-ecological and aerogenic conditions in urban and suburban ecosystems of the studied regions are considered. The significance of degradation of environmental objects by analyzed anthropotechnogenic factors is reflected in the correlation analysis results.

**Keywords:** urban ecosystems; suburban ecosystems; soil degradation; heavy metal pollution; dust pollution; life status index; leaf damage; territories of ecological tension; correlation; Lower Volga region; Middle Volga region; Central Chernozem region.