

Е.Б. Таллер, М.В. Тихонова, А.В. Бузылёв,
С.Ю. Ермаков, И.В. Андреева

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА НА БИОТУ



Москва
2021

Рецензент:

А.В. Махныкина к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии экосистем Сибирского Федерального Университета.

Таллер Е.Б., Тихонова М.В., Бузылёв А.В., Ермаков С.Ю., Андреева И.В.

Т 16 Оценка воздействия городской инфраструктуры и строительства на биоту: Учебное пособие: / Составители: Е.Б. Таллер, М.В. Тихонова, А.В. Бузылёв, С.Ю. Ермаков, И.В. Андреева — М.: ДПКПресс, 2021. — 102 с. — ISBN 978-5-91976-215-7

В учебном пособии представлены сведения системы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) в части воздействия городской инфраструктуры и строительства на биоту.

Предназначено для студентов бакалавриата и магистратуры обучающихся по направлениям: 05.03.06 — Экология и природопользование, 05.04.06 — Экология и природопользование.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова.

УДК 504.61
ББК 28.080.1

© Таллер Е.Б., Тихонова М.В.,
Бузылёв А.В., Ермаков С.Ю.,
Андреева И.В.
составители, 2021
им. К.А. Тимирязева, 2021
© Издательство «ДПК Пресс», 2021

ISBN 978-5-91976-215-7

Введение	5
1. Сущность оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), правовые основы и этапы становления	6
1.1. ОВОС: понятие, цель, задачи, принципы.....	6
1.2. Область применения ОВОС.....	9
1.3. Нормативно-правовые основы ОВОС. Краткая история развития ОВОС.....	13
2. Урбанизация и формирование городской среды. Городская инфраструктура	18
2.1. Современные проблемы урбанизации.....	18
2.2. Понятие «город».....	22
2.3. Городская среда.....	23
2.4. Состав и структура городского хозяйства.....	26
3. Воздействие городской инфраструктуры на биоту	28
3.1. Техногенные факторы городской среды.....	28
3.2. Городская инфраструктура как источник загрязнения.....	32
3.3. Приоритетные загрязнители городской среды и их воздействие на биоту.....	34
4. Биота урбанизированных территорий	53
4.1. Пути формирования биоты на урбанизированных территориях.....	53
4.2. Основные особенности урбанизированных биогеоценозов.....	56
4.3. Специфика биоты урбанизированных территорий.....	60
5. Оценка воздействия на биоту	65
5.1. Оценка воздействия градостроительства и объектов городской инфраструктуры на окружающую среду.....	65
5.2. Оценка воздействия на биоту.....	69
5.3. Оценка воздействия по критериям биологического мониторинга.....	85
Библиографический список.....	99

Введение

Оценка воздействия на окружающую среду является одним из важнейших способов и инструментов управления и регулирования природопользования, играющим главнейшую роль в предупреждении возникновения экологических проблем в настоящем и будущем. Термин «Оценка воздействия на окружающую среду» у нас в стране начал использоваться с конца восьмидесятых годов как дословный перевод термина «Environmental Impact Assessment» (EIA).

В Федеральном законе Российской Федерации «Об охране окружающей среды», (от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 02.07.2021) ОВОС определяется как «вид деятельности по выявлению, анализу и учёту прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в целях принятия решения о возможности или невозможности её осуществления».

1. Сущность оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), правовые основы и этапы становления

1.1. ОВОС: понятие, цель, задачи, принципы

Цель ОВОС состоит в подготовке экологически обеспеченных хозяйственных и иных решений.

По закону цели ОВОС заключаются в предупреждении возможных неблагоприятных воздействий хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы, а также в обеспечении реализации конституционных прав граждан Российской Федерации на информацию, благоприятную природную среду и экологическую безопасность.

ОВОС представляет собой процесс учета экологических требований в системе подготовки и принятия решений о хозяйственном развитии. В перечень основных задач, которые должны быть решены в процессе ОВОС, входят:

- » оценка состояния окружающей среды до реализации проектных решений, т.е. определение ее исходных (фоновых)

- характеристик и параметров компонентов, которые могут быть затронуты в процессе хозяйственной деятельности;
- » выявление основных факторов и видов вредного воздействия в связи с реализацией планируемой деятельности: химическое загрязнение атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, загрязнение почв, физическое воздействие на окружающую среду и человека, ландшафтно-деструкционное воздействие и степень нарушения земель;
- » определение лимитирующих экологических факторов устойчивости и уязвимых звеньев геосистемы;
- » обоснование показателей предельно допустимого воздействия и правил природопользования, исходя из лимитирующих экологических факторов намечаемого вида деятельности. Нормативы и правила должны обеспечить устойчивое развитие биогеоценозов в рамках природных или природно-технических систем;
- » создание наиболее благоприятных условий для поиска оптимальных инженерных, технических, технологических решений, способствующих минимизации неблагоприятных воздействий на окружающую среду, и разработка мер компенсации вероятных неблагоприятных последствий проектируемого предприятия на окружающую среду;
- » разработка рекомендаций и мероприятий по ограничению или нейтрализации всех основных видов воздействий, включая мероприятия по рекультивации с учетом лучших мировых достижений в этой области, использования малоотходных технологий, оборотных систем водоснабжения, систем защиты окружающей среды (и, прежде всего, очистки выбросов и сбросов); выявление и принятие необходимых и достаточных мер по предупреждению возможных неприемлемых для общества потерь экологического, экономического и социального характера, связанных с намечаемой хозяйственной деятельностью; эти меры должны учитывать специфику технологических циклов и свойства загрязняющих веществ, образующихся в процессе реализации намечаемой деятельности;
- » социальная и экономическая оценка результатов намечаемой деятельности в сравнении с экологическими последствиями и рекомендации по ее реализации;
- » обеспечение социально-эколого-экономической сбалансированности развития территории и улучшение условий жизни и деятельности людей.

Принципы ОВОС и экологической экспертизы закреплены в Федеральном законе от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», основные среди них следующие:

- » обязательность;
- » научная обоснованность;
- » широкая гласность и участие общественности;
- » презумпция потенциальной экологической опасности и приоритета экологической безопасности;
- » комплексность оценки;
- » достоверность и полнота информации;
- » гласность;
- » ответственность.

Принцип обязательности гласит, что «ОВОС является обязательной мерой охраны окружающей природной среды, предшествующей принятию хозяйственного решения...».

Принцип научной обоснованности, объективности и законности заключений означает, что ОВОС представляет собой научно-исследовательский процесс и должна проводиться на современном научно-техническом уровне, с использованием новейших форм и методов научных исследований квалифицированными учеными-экспертами. При этом в результате должна быть осуществлена не столько фиксация допущенных нарушений, сколько оценка их последствий, разработаны рекомендации органам или лицам, принимающим решения, а также выполнены необходимые прогнозы их реализации в действующих объектах.

Принцип широкой гласности и участия общественности предполагает доступность информации о ходе проведения ОВОС и экспертизы, принятых решениях и их учете органом управления при реализации объекта экспертизы, возможность общественных организаций и граждан получать такую информацию и доводить до сведения лиц, принимающих решения свою позицию, обязательность для последних сообщать о принятых решениях и т.д. Этот принцип обеспечивается, в частности, ст. 84 и 86 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», предусматривающими административную ответственность за отказ в предоставлении, или несвоевременное предоставление, или искажение экологической информации, а также возмещение причиненного таким правонарушением вреда. Гласность экологической информации тесно связана с привлечением общественности к участию в обсуждении ОВОС на разных стадиях ее подготовки.

Принцип презумпции потенциальной экологической опасности любой хозяйственной деятельности означает, что любой вид деятельности может повлечь экологические последствия для окружающей среды. В связи с этим заказчик намечаемой деятельности обязан привести доказательства экологической безопасности или спрогнозировать воздействие планируемой им деятельности на окружающую среду, обосновать допустимость этого воздействия и разработать необходимые меры охраны.

Принцип комплексности оценки воздействия предполагает подготовку заказчиком раздела «ОВОС» проекта, в котором определяется воздействие, его масштабы и распространение, изменения в окружающей среде, природных процессах и явлениях, а также в социальной среде.

Принцип достоверности и полноты информации определяет необходимость предоставления заказчиком полной информации о планируемом объекте, современном состоянии окружающей среды и воздействии на нее планируемого объекта в соответствии с требованиями, которые предъявляются к комплектованию проектной документации.

Принцип гласности и участия общественности обусловлен демократичностью законодательства Российской Федерации в области экологического права и средством реализации права граждан на благоприятную экологическую среду. Принцип устанавливает обязанность заказчика информировать заинтересованные стороны о проведении ОВОС и экологической экспертизы, привлекать общественность к обсуждению, учитывать общественное мнение.

Принцип ответственности заинтересованных лиц за организацию, проведение и качество ОВОС и экологической экспертизы означает, что в случае невыполнения ими требований по организации и проведению работ они будут нести предусмотренную законодательством ответственность.

1.2. Область применения ОВОС

Сфера применения процедуры ОВОС охватывает практически все виды деятельности и программы, если они способны оказать негативное влияние на состояние окружающей природной среды, а именно:

- » предложения о реализации проектов, контракты и международные договоры;

- » проекты правовых актов и прочие юридические документы;
- » федеральные программы экономического и социального развития;
- » международные и федеральные инвестиционные программы;
- » программы охраны окружающей среды;
- » материалы, обосновывающие заявки на получение лицензий и сертификатов на природопользование;
- » проекты технической документации, в том числе на новые технологии.

В свою очередь ОВОС представляет собой процедуру в системе подготовки хозяйственных решений, направленных на выявление и предупреждение неприемлемых для общества экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий реализации этой деятельности, а также оценку инвестиционных затрат на природоохранные мероприятия. Согласно п. 1.3 приказа Госкомэкологии России от 16 мая 2000 г. № 372 «Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в РФ» ОВОС производится для всех видов деятельности, документация которой подлежит направлению на ГЭЭ.

Всякая хозяйственная деятельность заведомо оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому всегда необходимо иметь ответ на вопрос: насколько плата за это воздействие соответствует экономическим выгодам от реализации данной деятельности? В Указе Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440 «О концепции перехода России к устойчивому развитию» сформулированы критерии такого соответствия: никакая хозяйственная деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает вызываемого ущерба; ущерб окружающей среде должен быть на столь низком уровне, какой только может быть разумно достигнут с учетом экономических и социальных факторов.

Согласно статье 14 Федерального закона от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» вся документация, подлежащая государственной экологической экспертизе, должна содержать материалы оценки воздействия на окружающую среду». Традиционно ОВОС организуется и проводится при подготовке следующих видов обосновывающей документации:

- » нормативная и инструктивно-методическая, регулирующая вопросы охраны окружающей среды и экологической опасности населения;

- » предьинвестиционная — концепции, программы, схемы отраслевого и территориального развития, комплексного использования и охраны природных ресурсов, схемы инженерной защиты, районных планировок и т.п.;
- » градостроительная — генеральные планы застройки городов и других населенных пунктов в части экологического обоснования градостроительных решений;
- » предпроектная — обоснование инвестиций в строительство (на расширение, реконструкцию, техническое перевооружение) промпредприятий, объектов и комплексов;
- » проектная — проекты и рабочая документация для строительства предприятий, зданий и сооружений;
- » обосновывающие материалы лицензий на природопользование в обращении с отходами;
- » проекты и рабочая документация для сертификации техники, технологии и материалов.
- » Можно выделить следующие критерии отнесения видов деятельности к тем, которые подлежат ОВОС:
- » объект или вид деятельности находится в перечне видов хозяйственной деятельности, для которых ОВОС проводится в полном объеме;
- » реализация проекта предполагается в районе, который имеет особый правовой статус или особую природную чувствительность;
- » местное население считает необходимым проведение ОВОС из-за озабоченности экологической ситуацией.

Как правило, но не всегда, за выполнение экологической оценки отвечает инициатор строительной деятельности (инвестор). Требования к процессу ОВОС могут быть установлены законом, инструкциями или другим способом в зависимости от страны или доноров, вовлеченных в финансирование проекта. Большинство процедур ОВОС требуют или рекомендуют привлекать общественность на некоторых или даже многих стадиях процесса.

Экологические экспертизы и оценки обычно выполняются группой людей, специально подобранных для этого и обладающих соответствующим научным, экономическим и социальным опытом. Эта группа людей действует как междисциплинарная команда специалистов, собранная для того, чтобы спланировать и осуществить процесс систематического исследования.

Этапы проведения ОВОС

1-й этап. Разработка концепции намечаемой деятельности.

Целью первого этапа проведения ОВОС является информирование общества о намечаемых действиях заказчика, которые неизбежно приведут к изменению среды обитания людей на конкретной территории. Таким образом, ОВОС начинается, когда заказчик планируемой деятельности формирует предложение по осуществлению какого-либо проекта или программы (концепция намечаемой деятельности). По результатам этого этапа с целью объявления своих намерений по организации того или иного вида деятельности на конкретной территории заказчиком готовится Уведомление о намерениях, которое содержит:

- а) предварительный список намерений заказчика по характеру планируемой деятельности, включающий планы предполагаемых действий и осуществления природоохранных мероприятий, специфику ежегодных планов этих работ, перечень средств обеспечения и инфраструктуры и т.д.;
- б) перечень реальных и разумных альтернатив рассматриваемому проекту.

Уведомление о намерениях передается в местные органы власти и управления для получения заказчиком разрешения на проектирование и изыскания.

2-й этап. Определение воздействий на окружающую среду

Целью второго этапа проведения ОВОС является выявление всех возможных воздействий будущего хозяйственного объекта или комплекса на окружающую среду с учетом природных условий конкретной территории, т.е. осуществляется полный анализ технологических, экономических, социальных и экологических аспектов проектного предложения с целью установления заказчиком целесообразности и необходимости дальнейшего проведения работ по ОВОС. При этом рассматривается технологическая часть проектных предложений и основные принципиальные положения по ожидаемому воздействию на окружающую среду. К таким положениям относятся:

- а) экологическая обстановка на территории предполагаемого размещения предприятия;
- б) общественное мнение по поводу осуществляющихся на данной территории видов хозяйственной деятельности;
- в) наличие воздействий, избежать которые невозможно при существующих технологиях;
- г) вероятность распространения воздействия на другие административные территории.

Приводится также обоснование целей, средств и сроков реализации проектных предложений и места размещения будущего предприятия. Последнее особенно важно при определении характера объектов воздействия (социально-демографическая структура местного населения, разнообразие растительного и животного мира и т.д.) и границ проведения дальнейших исследований по ОВОС. При обосновании заказчиком отсутствия необходимости проведения дальнейших работ по ОВОС его решение подтверждается государственными органами власти, управления и контроля, если другое не оговорено в установленном порядке.

В процессе подготовки ЗВОС также используется и анализируется информация о возможном воздействии на окружающую среду предполагаемой деятельности, включающая сведения:

- » о планируемых источниках и видах воздействия;
- » о характере и видах воздействия, его качественных и количественных оценках (масштаб, интенсивность, глубина, периодичность, продолжительность, пространственный охват, степень опасности намечаемой деятельности);
- » об источниках воздействия (размерах, пространственных формах и расположении);
- » об объектах воздействия.

Результат завершения этапов Процедуры ОВОС оформляется следующими документами:

- а) уведомление о намерениях (УН);
- б) заявление о воздействии на окружающую среду (ЗВОС);
- в) протокол обсуждения ЗВОС;
- г) заявление об экологических последствиях (ЗЭП).

1.3. Нормативно-правовые основы ОВОС. Краткая история развития ОВОС

Нормативно-правовые основы ОВОС

Национальная политика Российской Федерации в области ОВОС определена в Федеральном законе от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», который содержит специальную главу VI «Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза» и главу VII «Требования в области охраны окружающей среды при осуществлении хозяйственной или иной деятельности». В частности, статья 32 посвящена определению целей и задач

ОВОС, статья 33 — целям проведения экологической экспертизы. В статье 33 говорится, что «оценка воздействия на окружающую среду проводится в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду, независимо от организационно-правовых форм собственности субъектов хозяйственной и иной деятельности. Оценка воздействия на окружающую среду проводится при разработке всех альтернативных вариантов предпроектной, в том числе прединвестиционной, и проектной документации, обосновывающей планируемую хозяйственную и иную деятельность, с участием общественных объединений». Здесь же сказано, что «требования к материалам оценки воздействия на окружающую среду устанавливаются федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды». Помимо указанных глав и статей, напрямую посвященных ОВОС, в данном законе глава IV «Экономическое регулирование в области охраны окружающей среды» и глава V «Нормирование в области охраны окружающей среды» также имеют большое значение для проведения ОВОС.

К нормативно-правовым подзаконным актам в области ОВОС относятся следующие:

- » указы Президента РФ, регулирующие различные аспекты охраны ОС. Например, указ Президента РФ от 4 февраля 1994 г. № 236 «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития», указ Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440 «О Концепции перехода России к устойчивому развитию». В этих документах, в частности указывается на «экологически обоснованное размещение производительных сил», на «оценку хозяйственной емкости экосистем и определение допустимого на них антропогенного воздействия», подразумевает проведение ОВОС;
- » нормативные документы специально уполномоченных государственных органов в области экологической экспертизы;
- » нормативные документы других ведомств по ОВОС.

Важнейшим международным документом в изучаемой области служит *Международная конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте*.

Вторым по значимости международным документом в области ОВОС служит *Директива ЕЭС № 337/85/ЕЭС Об оценке воздействия некоторых государственных и частных проектов на окружающую среду*.

Нормативными документами, которые используются при проведении ОВОС являются Государственные стандарты, нормы, правила, перечни и классификаторы, а также руководства, методики, методические и другие рекомендации, справочные пособия. Это нормативно-технические документы, содержащие конкретные количественные нормативы, показатели и критерии для проверки предлагаемых решений на соответствие экологическим требованиям.

Краткая история развития ОВОС

Чтобы понять, каким образом может и должна в дальнейшем развиваться деятельность по ОВОС в России, необходимо хотя бы кратко осмыслить, какие именно шаги и почему были сделаны как в нашей стране, так и во всем мире в этой области за последние десятилетия.

Принятие Конгрессом США (1969) и подписание Президентом США Р. Никсоном (1970) законодательного акта «О национальной политике в области окружающей среды» (National Environmental Policy Act — NEPA) положило начало проведению процедуры ОВОС. В 1979 г. Совет по качеству окружающей среды США утвердил «Правила по выполнению процедур ОВОС», установленных NEPA, которые в 1986 г. на основе практического опыта были существенно переработаны. На основе NEPA правовые службы отдельных штатов США разрабатывают и принимают на законодательном уровне собственные правила по выполнению процедур ОВОС. В настоящее время такая работа проделана более чем в 15 штатах.

В 1972–1973 гг. федеральное правительство Канады ввело порядок проведения ОВОС, издав Инструктивную директиву по ОВОС, которая определяла суть и цель федеральной экологической оценки. В 1995 г. вступил в силу принятый тремя годами раньше закон Канады «Об экологической оценке», а федеральное Агентство по оценке воздействия на окружающую среду Канады было преобразовано в Канадское агентство по экологической оценке.

Законодательные акты, содержащие элементы процесса оценки воздействия на окружающую среду, были приняты в Австралии (1974 г.), Франции (1976 г.), Новом Южном Уэльсе (1979 г.).

В 1985 г. Европейская экономическая комиссия (ЕЭК) ООН приняла Директиву 85/337/ЕЭС для стран — членов Европейского экономического сообщества (ЕЭС) «Об оценке воздействия некоторых государственных и частных проектов на окружающую среду», на основе которой были изданы самостоятельные законодательные и/или административные акты о применении процедур ОВОС

в системе принятия хозяйственных и иных решений в ФРГ (1990 г.), Греции (1986 г.), Ирландии (1989 г.), Дании (1989 г.), Италии (1988 г.), Нидерландах (1987 г.), Испании (1987 г.), Португалии (1990 г.), Новой Зеландии (1986 г.), Японии (1986 г.) и ряде других стран.

Официальным началом деятельности по оценке воздействия на окружающую среду в нашей стране принято считать 1985 г., когда были утверждены Строительные нормы и правила (СНиП 1.02.01-85) «О составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений». В приложении № 4 «Охрана окружающей природной среды» к указанным СНиП появилась рекомендация, согласно которой, этот раздел рабочего проекта строительства хозяйственного объекта должен был содержать «комплексную оценку оптимальности предусматриваемых технических решений по рациональному использованию природных ресурсов и мероприятий по предотвращению отрицательного воздействия строительства и эксплуатации предприятия, сооружения на окружающую природную среду, включая флору и фауну».

В 1990 г. Госкомприроды СССР была утверждена «Временная инструкция о порядке проведения оценки воздействия на окружающую среду при разработке технико-экономических обоснований (расчетов) и проектов строительства народнохозяйственных объектов и комплексов» (со сроком действия до 01.01.92), которая впервые использовала аббревиатуру ОВОС и стала первым нормативным документом в этой области. На основе Временной инструкции более 20 министерств и ведомств утвердили по согласованию с Госкомприроды СССР отраслевые инструкции по проведению ОВОС, которые стали первым «эшелон» нормативной базы по оценке воздействия на окружающую среду. В 1992 г. территориальные органы системы Госкомприроды СССР получили указание от руководства Комитета не принимать на государственную экологическую экспертизу обосновывающую документацию без информации об использовании в проектных решениях результатов проведения ОВОС.

Национальная политика Российской Федерации в области ОВОС определена в Федеральном законе от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», который содержит специальную главу VI «Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза».

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение ОВОС и сформулируйте задачи оценок воздействия.
2. Какие федеральные законы (кодексы) регламентируют экологическую экспертизу в России и содержат относящиеся к ней положения?
3. Назовите основные нормативно-правовые документы, в которых содержатся основные юридические требования в ОВОС.
4. Перечислите виды и объекты хозяйственной деятельности, при строительстве и проектировании которых ОВОС проводится в обязательном порядке.
5. Определите различия между ОВОС и экологической экспертизой.
6. Какие принципы характерны для ОВОС?
7. Нормативно-правовое обеспечение ОВОС.
8. Что означает принцип превентивности в ОВОС?
9. Какие основные требования предъявляются к материалам ОВОС?

развитию городов. А демографический взрыв второй половины XX века вызвал ускорение темпов роста городского населения во всем мире.

Доля городского населения в Европе за 1950–2020 гг. возросла с 56 до 79%. Для стран Латинской Америки темпы роста городского населения составили в среднем 2,9% в год. Особенно интенсивно процессы урбанизации протекают в развивающихся странах. Во многих странах население концентрируется в больших городах: на 2020 год в мире было около 600 агломераций с населением от 1 млн чел.

С ростом численности населения города обычно растет и плотность его населения. Плотность населения в городах составляет от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч человек на 1 км². Например, Лос-Анджелес имеет 3,3, Детройт — 4,2, Чикаго — 5,8, Филадельфия — 5,8, Монреаль — 10,0, Нью-Йорк — 10,2, Осака — 16,6, Токио — 17,0, Калькутта — 28,6, Бомбей — 38,6 тыс. чел./км². В совокупности эти факторы приводят к обострению экологической ситуации в городах.

В России очень быстро увеличивается население больших городов и городов более крупного ранга. Доля городских жителей в РФ превышала отметку в 50% уже в 1958 году, а на 2020 год составила 74,75%. Но в последние годы этот показатель в стране меняется медленно. На 2020 год на территории РФ располагались 15 городов с населением свыше 1 млн чел.

По оценке Росстата в России на 1 января 2021 г. было 146 171 015 постоянных жителей, а плотность населения — 8,54 чел./км². В настоящее время на территории России располагается 1117 городов — 15 миллионников, 64 крупных городов, 90 больших, 155 средних и 788 маленьких городов. Всего же в России городское население по состоянию на 2020 г. составило 75% (табл.2.1.1).

2. Урбанизация и формирование городской среды. Городская инфраструктура

2.1. Современные проблемы урбанизации

Возникновение и постоянное увеличение площади и численности населения городов, приобретение сельскими поселениями городских признаков, повышение роли городов в социально-экономическом развитии общества, формирование городского населения, ведущего специфический образ жизни, а также «городских» популяций растений и животных составляет сущность процесса, называемого урбанизацией (от лат. *urbanus* — городской). Общая площадь урбанизированной территории Земли составила в 1980 г. 4,69 млн. км². Ожидается, что в 2070 г. она достигнет 19 млн. км², т.е. 12,8% всей и более 20% жизнепригодной территории суши.

Поступательный процесс урбанизации особенно ярко проявился в эпоху научно-технической революции. Если городское население Земли в 1800 г. составляло всего лишь 3%, в 1900 г. — 13,6%, в 2000 г. составила 47%, а в 2020 в городах мира проживало более половины населения планеты — 56,15%.

Настоящим веком урбанизации стал XX век. Мощное индустриальное развитие стран в этот период способствовало быстрому

Таблица 2.1.1.
Городское население Российской Федерации
(по данным Росстата на 2016 г.)

Федеральный округ	Города-миллионеры	Крупнейшие (500 000–1 000 000)	Крупные (250 000–500 000)	Большие (100 000–250 000)	Средние (50 000–100 000)	Малые (до 50 000)	Итого
Дальневосточный	0	2	2	6	6	51	67
Приволжский	5	7	5	15	35	132	199
Северо-Западный	1	0	6	4	14	121	146
Северо-Кавказский	0	1	3	10	10	32	56
Сибирский	3	5	2	11	20	89	130
Уральский	2	1	5	8	17	82	115
Центральный	2	3	14	25	35	224	303
Южный	2	2	4	9	16	46	79
Итого	15	21	43	90	155	788	1112
Население, чел.	32 997 392	12 930 987	15 100 216	13 751 713	10 810 007	16 060 203	101 650 518
Население, %	32,46	12,72	14,86	13,53	10,63	15,8	100,0

Средняя плотность населения составляет около 8,54 человека на км², при этом население распределено крайне неравномерно: 78% россиян проживает в европейской части России, которая составляет менее 25% территории. Среди субъектов федерации наибольшая плотность населения зарегистрирована в Москве – более 4 626 человек на км², наименьшая – в Чукотском автономном округе – менее 0,07 человек на км². Исходя из статистических показателей, необходимо сразу отметить, что население России, а точнее, приблизительно 93% от общей численности, проживает на 30% территории. Тогда как остальные 7% занимают около 70% земель страны. Самая большая плотность наблюдается в Москве и Санкт-Петербурге. Так, например, численность столицы составляет на начало 2020 года – 12.692.466 человек. А далее, по прогнозам, будет также увеличиваться. Плотность, с учетом того, что площадь городского

конгломерата составляет чуть более, чем 2.500 км², на сегодняшний день составляет немногим более 4956 человек на кв.км.

На втором месте по плотности и численности идет Санкт-Петербург. На сегодняшний день численность города составляет 5.302.992 человека. Соответственно, плотность Санкт-Петербурга составляет 3843 человека на кв.км.

Плотность на сегодняшний день менее 1 человека на кв.км. наблюдается в таких регионах России, как:

- » Ямало-ненецкий автономный округ показателем 0,71 человека на квадратный километр.
- » Камчатка – 0,67.
- » Якутия (республика Саха) – 0,31 человека.
- » Магадан и область – 0,3 человека на единицу площади.
- » Ненецкий автономный округ – 0,25 человека.
- » Замыкает рейтинг регионов с самым низким показателем плотности населения, причем, с существенным отрывом – Чукотский автономный округ. Здесь на квадратный километр живет всего лишь 0,07 человек.

Урбанизированные территории занимают все большие площади суши, и экологические проблемы городской среды распространяются на все большие территории, затрагивая почти половину населения планеты.

Урбанизация поставила перед человечеством ряд экологических проблем, среди которых наиболее острыми являются: уязвимость городских систем, миграция и концентрация населения, низкое качество среды обитания, потеря плодородных земель, удаление отходов. Крупный город изменяет почти все компоненты природной среды – атмосферу, растительность, почву, рельеф, гидрографическую сеть, подземные воды, грунты и даже климат.

Территории многих городов России и характер функционирования различных городских территорий до настоящего времени не отвечают требованиям устойчивого развития. Многие экологические проблемы крупных городов обусловлены не столько самим процессом урбанизации, сколько недостатками управления и планирования. Возникает необходимость не столько в эффективных способах ликвидации негативных последствий антропогенного воздействия на природную среду, сколько в надежных механизмах их предупреждения. В этом направлении особая роль принадлежит совершенствованию методов экологической экспертизы, новой техники, технологий, проектов строительства и т.д.

2.2. Понятие «город»

Слово «город» происходит от слов «городить», «огораживать». Возникновение первых городов относится к периоду перехода от кочевого к оседлому образу жизни, от первобытнообщинного строя к рабовладельческому, периоду первого крупного разделения труда на сельскохозяйственный и ремесленный. Разделение труда привело к появлению обмена продукцией и развитию торговли. Поэтому первые города чаще возникали на перекрестках торговых путей. За пять – шесть тысячелетий своей эволюции города прошли путь от сравнительно небольших по числу жителей и занимаемой площади, простых по организации и структуре образований к сложным и крупным экономическим, социально-политическим, культурно-религиозным, научным, военно-стратегическим центрам и агломерациям.

Критериями определения городских поселений в современной России являются:

- » численность населения данного населенного пункта (для городов она должна быть не менее 10 000 человек);
- » род занятий населения (не менее 85% населения, относящегося к городским поселениям, должно состоять из рабочих, служащих и членов их семей).

Еще одним критерием классификации городов является их специализация, определяющая структуру занятости в городах, а также профиль производственной деятельности градообразующих предприятий.

Специализацию города можно определить с помощью индекса специализации, рассчитываемого по формуле:

$$S_i = (N_i - N_j) / N_j,$$

где S_i – индекс специализации города i по отрасли N ; N_i – доля отрасли N в суммарной занятости города i ; N_j – доля отрасли N в суммарной занятости в стране.

В России по функциональному признаку выделяют административные центры территорий, промышленные, ресурсодобывающие, агропромышленные города, транспортные узлы и порты. Так, 58% малых и средних городов России выполняют агропромышленную функцию, 75% – промышленную, 70% – транспортную, 32% – рекреационную; 215 – города-спутники, специализирующиеся на обслуживании крупных городов. Особенности отличаются курортные города, наукограды, закрытые

административно-территориальные образования (ЗАО). Однако, большинство городов, в том числе все крупные города, имеют многофункциональное назначение.

В соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» города классифицируются по численности населения на шесть основных категорий (табл. 2.2.1).

Таблица 2.2.1.
Классификация населенных пунктов в Российской Федерации

Размер	Города и поселки	Сельские поселения
Сверхкрупные	>3 000 000	–
Крупнейшие	1 000 000–3 000 000	–
Крупные	250 000–1 000 000	>5 000
Большие	100 000–250 000	1 000–5 000
Средние	50 000–100 000	200–1 000
Малые	<50 000	<200

2.3. Городская среда

Городская среда представляет собой совокупность антропогенных объектов, компонентов природной среды, природно-антропогенных и природных объектов. При этом природная среда и искусственная городская среда взаимосвязаны и взаимозависимы. Кроме того, производственные и другие антропогенные объекты воздействуют на природную среду города через хозяйственную и иную деятельность.

Антропогенные объекты искусственной городской среды занимают основную часть территории города. К ним относятся жилые, общественные и промышленные здания, улицы, магистрали, площади, подземные переходы, стадионы, телебашни и другие сооружения. К числу антропогенных объектов относятся также транспортные и другие передвижные и технические средства. Антропогенные объекты делятся на градостроительные, производственные и объекты городских инфраструктур: транспортной, инженерной и социальной.

Компонентами природной среды города являются атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, грунты, солнечный свет. Это компоненты среды обитания, без которых жизнь человека и других организмов невозможна.

К природно-антропогенным объектам относятся городские леса, парки, сады, озелененные территории жилых и промышленных районов, бульвары, скверы, защитные зоны, каналы, водохранилища и т.п. Природно-антропогенные и природные объекты вместе с компонентами природной среды образуют природную среду города, которая является важнейшей составляющей городской среды. Именно природная среда необходима для жизни и является ее основой.

Город, взаимодействуя с природной средой, выделяет в окружающую среду разнообразные вещества и энергию, и в город также поступают материалы, вещества, энергия. Внутри города эти потоки пересекаются и взаимодействуют (люди производят изделия, энергию, потребляют пищу и воду и т.д.), что приводит к появлению новых изделий, веществ и воздействий. Множество видов веществ и энергии после их использования в городе поступает в природу, в том числе в атмосферу, гидросферу, почву в виде загрязнений. Знание основ взаимодействия города и природы как геосоциальной системы может помочь разработке более экологичных путей развития города, направлений формирования здоровой и комфортной городской среды.

Комплексная оценка уровня экологического благополучия городской среды проводится по совокупности медико-демографических, санитарно-гигиенических и экономических показателей. Учитывается качественное состояние здоровья населения, природной и искусственной среды. Существует два варианта оценки: определение балльного показателя экологического благополучия и расчет индекса устойчивого развития города.

Для определения балльного показателя выделяют 7 ступеней экологического состояния городской среды, каждая из которых характеризуется определенной суммой баллов. Все ступени образуют так называемую «экологическую пирамиду»

1-я ступень. *Краховое состояние* — массовые смертельные исходы среди населения, невосстанавливаемые поражения природной среды и разрушения функциональной и композиционной систем организации городской среды.

2-я ступень. *Катастрофическое состояние* — массовые заболевания населения, крупные поражения природной среды в масштабах города и региона, разрушения функциональной и композиционной систем с возможным их восстановлением.

3-я ступень. *Кризисное состояние* — сигнальные случаи заболевания населения, очаговые поражения природных ресурсов,

нарушения требований градостроительных СНиПов и принципов композиции, затрудняющих реализацию функционально-утилитарных и художественно-эстетических потребностей человека.

4-я ступень. *Допустимое состояние* — отступления от нормы, не приводящие к заметным отклонениям в здоровье человека и в природной среде, отклонения от требований СНиПов и принципов композиции не вызывают художественно-эстетического и психологического дискомфорта.

5-я ступень. *Нормативное состояние* — соответствие санитарно-гигиеническим требованиям, на природную среду не оказываются больших антропогенных нагрузок, нормальное функционирование человеческого организма, флоры и фауны; соблюдение градостроительных СНиПов, принципов и правил композиции.

6-я ступень. *Оптимальное состояние* — учет индивидуальных потребностей человека; соответствие функциональной и композиционной организации искусственной среды местным природным условиям, потребностям конкретных социальных групп.

7-я ступень. *Гармоническое состояние* — совершенство и упорядоченность экологических, функциональных и эстетических отношений между населением, природной и архитектурной средой.

Отдельные зоны города характеризует балльный показатель, установленный в соответствии со степенями экологического состояния среды. Уровень экологического благополучия городской среды в целом оценивается в сумме баллов всех зон города с учетом весовых коэффициентов, установленных экспертной оценкой.

Расчет индекса устойчивого развития города проводится по формуле

$$I_{y.p.e} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{cp}}{P_n} \cdot K_i$$

где n — число показателей, P_{cp} — средний или фактический показатель, P_n — нормативный показатель, K_i — весовой коэффициент i -го показателя.

В качестве показателей рекомендуется рассматривать степень загрязнений атмосферного воздуха (воды, почвы, растительности), среднюю продолжительность жизни, уровень среднедушевого дохода населения, отношение расходов на социальные программы к ВВП.

По значениям балльного показателя и индекса устойчивого развития города анализируется динамика изменения качества городской среды.

2.4. Состав и структура городского хозяйства

Городское хозяйство — это сложный, динамично развивающийся комплекс различных отраслей, тесно связанных между собой и объединенных общей целью удовлетворения жизненно важных потребностей населения, а также различных организаций и предприятий, расположенных на территории города.

Представим город как совокупность следующих организационно-технических комплексов: социального, инженерного, строительного, торгового, промышленного, транспортного.

Социальный комплекс объединяет все указанные комплексы в единую городскую систему, управляемую городской администрацией, и состоит из системы управления и финансирования города, систем сохранения правопорядка и социального обеспечения пожилых людей и неимущих.

Комплекс городского хозяйства (инженерный) состоит из систем водоснабжения и канализации, эксплуатации жилья, вывоза и переработки отходов, ремонта и эксплуатации дорог, муниципального энерго- и теплоснабжения, эксплуатации и развития зеленых насаждений.

Строительный комплекс включает в себя организации по промышленно-гражданскому строительству городского подчинения и строительству дорог.

Торговый комплекс состоит из торговых предприятий и систем снабжения (транспорт, торговые базы).

Промышленный комплекс вбирает в себя все производства и систему координации промышленных предприятий на территории города.

Транспортный комплекс объединяет транспортные предприятия муниципального подчинения, содержит систему координации всех транспортных предприятий на территории города и систему управления движением в городе. Определения «городское хозяйство» и «городская инфраструктура» с точки зрения общих подходов носят схожий характер и могут использоваться как синонимы, однако принципиальным отличием является включение в понятие «городское хозяйство» системы управления этим комплексом, что выделяет городское хозяйство в отдельную систему, включающую экономическую, социальную и организационную (управленческую) компоненты. Традиционно в системе городского хозяйства выделяют следующие составляющие городской инфраструктуры:

- » *производственно-хозяйственная инфраструктура* (транспорт, связь, энергетическое и коммунальное хозяйство);
- » *транспортная инфраструктура* (дороги, вокзалы, порты, терминалы, склады и т.п.);
- » *организационно-институциональная инфраструктура* (торговые, юридические, аудиторские, консалтинговые фирмы, рекламные агентства, бизнес инкубаторы, бизнес центры, технопарки и т.п.);
- » *социальная инфраструктура* (учреждения образования, здравоохранения, культуры, рекреации и спорта);
- » *финансовая инфраструктура* (банки, страховые и инвестиционные компании, пенсионные фонды и т.п.);
- » *информационная инфраструктура* (информационные сети; системы связи телекоммуникаций справочные системы и т.п.). Градостроительный кодекс Российской Федерации подразделяет городскую инфраструктуру на инженерную (здания, сооружения), транспортную (коммуникации) и социальную.

Вопросы для самоконтроля:

1. Современные тенденции мировой урбанизации.
2. Особенности урбанизации в России в последние десятилетия.
3. Назовите общие для всех стран критерии города.
4. Каковы факторы и предпосылки развития городов?
5. Где расположены мегалополисы, какие города они включают?
6. Какие показатели используются при анализе урбанизации?
7. Назовите качественные и количественные различия урбанизации в развитых и развивающихся странах.
8. Критерии классификации городов
9. Как оценить экологическое состояние городской среды?
10. Что включает понятие «городская инфраструктура»?

продолжение таблицы 3.1.1.

3. Воздействие городской инфраструктуры на биоту

3.1. Техногенные факторы городской среды

Функционирование объектов городской инфраструктуры порождает целый ряд техногенных факторов, которые из-за плохо управляемого социально – экологического развития городов привели к росту негативных воздействий на природную среду (табл. 3.1.1).

Таблица 3.1.1.

Воздействия городов на природную среду и их последствия

Воздействие	Последствия				
	Для почвы	Для растительности	Для животного мира	Для воздуха	Для воды
Сокращение площади почвенно-растительного слоя	Повышение удельной антропогенной нагрузки, деградация	Повышение удельной антропогенной нагрузки, сокращение разнообразия, деградация	Исключение экологических ниш, сокращение разнообразия, вытеснение, гибель	Сокращение очистки, ухудшение состава	Ухудшение самоочистки, состава

Воздействие	Последствия				
	Для почвы	Для растительности	Для животного мира	Для воздуха	Для воды
Антропогенные наносы (культурные слои)	Изменение состава, нарушение самоочищения, деградация	Ослабление роста и ускорение процессов старения и отмирания	Угнетение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов	То же	То же
Покрывание почвы непроницаемым слоем при строительстве	Полное прекращение круговорота веществ	Гибель всей растительности	Гибель всего животного мира – редуцентов и др.	Ухудшение состава воздуха ввиду прекращения круговорота	Ухудшение состава и свойств, концентрация загрязнений
Загрязнение насыпных почв, создание свалок	Изменение структуры и свойств, накопление особо опасных перерабатываемых веществ, исключение самоочищения	Концентрация загрязнений, ухудшение свойств, деградация	Обеднение биоты, вытеснение из экологических ниш, гибель	Загрязнение, ухудшение состава и свойств	Загрязнение, ухудшение состава и свойств
Поглощение городом не возвращаемой в природу органической массы	Нарушение геохимического цикла, разрушение структуры, гумуса	Уменьшение содержания питательных веществ в почве	Угнетение жизнедеятельности почвенной микрофлоры	Сокращение самоочистки воздуха, его загрязнение	Сокращение самоочистки воды, загрязнение

продолжение таблицы 3.1.1.

Воздей- ствие	Последствия				
	Для почвы	Для расти- тельности	Для живот- ного мира	Для воздуха	Для воды
Вытап- тывание, уплотне- ние почв	Нарушение структуры, свойств, переуплот- нение	Угнетение и гибель раститель- ности	Сокра- щение жизнедея- тельности микрофло- ры	То же	То же
Пере- грев почв летом, повышение темпе- ратуры и сниже- ние влаж- ности воздуха	То же, гибель почвенных организмов	То же, гибель почвенной микрофло- ры	Гибель почвенной микрофа- уны	То же	То же
Поступле- ние за- грязнений в воздух и воду	Загрязне- ние почв, изменение их физиче- ского и хи- мического состава	Угнетение раститель- ности кон- центрация загрязне- ний, гибель	Отрав- ление животных, болезни, гибель	Сокраще- ние способ- ности к са- моочистке, негативное изменение свойств	Попада- ние за- грязнений с осадка- ми в воду, сокраще- ние и ис- ключение самоочи- щения
Шумовое загрязне- ние	—	Угнетение раститель- ности	Угнетение, гибель животных	Тоже, из-за угне- тения флоры	То же

Источниками загрязнения городской среды являются любые объекты производственной и бытовой деятельности людей, приносящие загрязнения в атмосферный воздух, водные объекты, почву и грунты города.

Источники загрязнения атмосферного воздуха — это транспортный и теплоэнергетический комплексы, промышленные предприятия цветной и черной металлургии, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, машиностроения, стройиндустрии, пищевой и газовой промышленности, а также жилищно-коммунальное хозяйство. Значительный вклад

в загрязнение воздуха городов вносят теплоэнергетические предприятия: ТЭС, отопительные и производственные котельные.

Основным источником загрязнения атмосферного воздуха служат автомобильный транспорт. Суммарный объем выбросов загрязняющих веществ на территории Российской Федерации составляет 35 млн. т в год, из них 60% приходится на автотранспортный комплекс и 40% на выбросы предприятий промышленности.

Источники шумового загрязнения воздушной среды города — это, в первую очередь, автомобильный транспорт, а также железнодорожный, авиационный и электротранспорт. Свой вклад в шумовое загрязнение вносят промышленные, строительные, дорожные, погрузочно-разгрузочные, бытовые и прочие машины и агрегаты. На селитебной территории города источниками шума являются сооружения транспортной инфраструктуры, объекты спорта и торговли: автомагистрали, автобусные, троллейбусные и железнодорожные вокзалы, аэропорт, физкультурно-оздоровительные сооружения открытого типа, торговые комплексы, рынки.

К источникам вибрации относятся: городской наземный транспорт, метрополитен, промышленные предприятия.

Источниками электромагнитных полей на территории жилой застройки являются радио- и телевизионные станции, локационные установки, промышленные генераторы, линии электропередачи высокого напряжения, различные энергетические и энергоемкие установки. Кроме того, источники электромагнитного излучения — это базовые станции сотовой связи, радары ГИБДД.

Наиболее водоемкие отрасли городской инфраструктуры — энергетика, машиностроение, целлюлозно-бумажная, топливная, химическая и нефтехимическая, пищевая промышленность, черная и цветная металлургия, а также жилищно-коммунальное хозяйство вносят основной вклад в сброс сточных вод и являются источниками загрязнения водных объектов города. Большую роль в загрязнении водных объектов играют поверхностные стоки с городских территорий. Следует при этом отметить, что значительные объемы забранной воды теряются в процессе промышленного производства вследствие несовершенства технологий и утечек. В коммунальном хозяйстве из-за изношенности водопроводных сетей и несовершенства запорной арматуры теряется в среднем более 20% подаваемой потребителям воды.

Основными источниками загрязнения почв города нефтепродуктами являются автозаправочные станции; тяжелыми металлами — предприятия машиностроения. Большую роль в загрязнении

и захламлении почв играют бытовые и промышленные отходы. Объем ежегодно образующихся токсичных отходов на предприятиях страны в 1,6 раза превышает объем используемых и обезвреживаемых отходов. На санкционированные свалки и полигоны твердых бытовых отходов поступает более 1 млн. т промышленных отходов. На основании анализа предварительных данных инвентаризации общая площадь, занятая местами размещения отходов, в целом по Российской Федерации превышает 200 тыс. га. Более 60 тыс. га занято шламонакопителями и хвостохранилищами, более 100 тыс. га — отвалами, терриконами, шлакозолоотвалами. Площадь под полигонами по обезвреживанию и захоронению отходов составляет около 6,5 тыс. га, под санкционированными свалками — около 35 тыс. га.

3.2. Городская инфраструктура как источник загрязнения

В России наибольшее количество загрязняющих веществ в атмосферу выбрасывает автотранспорт (33,4%), энергетическая промышленность (15,3%), цветная (11,2%) и черная металлургия (8,3%). Максимальные объемы загрязняющих сточных вод сбрасывают в водоемы жилищно-коммунальные хозяйства (51,1%), целлюлозно-бумажная (7,4%), химическая и нефтехимическая (6,2%), энергетическая (4,5%) промышленность. Среди выбросов веществ в атмосферу промышленностью преобладают жидкие и газообразные вещества (82,4%), в частности: окислы серы (34,0%), углерода (23,2%), азота (9,5%), аммиак, серная кислота, углеводороды, бензин, сажа. В России от стационарных источников в атмосферу ежегодно выбрасывается около 6 млн. т диоксида серы и 2 млн. т диоксида азота.

В сбрасываемых промышленностью сточных водах больше всего водорастворимых солей, включая соли тяжелых металлов, хлоридов, сульфатов. Потребляя природные ресурсы, город поставляет и загрязняет окружающую среду значительными объемами продуктов своей жизнедеятельности (рис. 3.2.1).

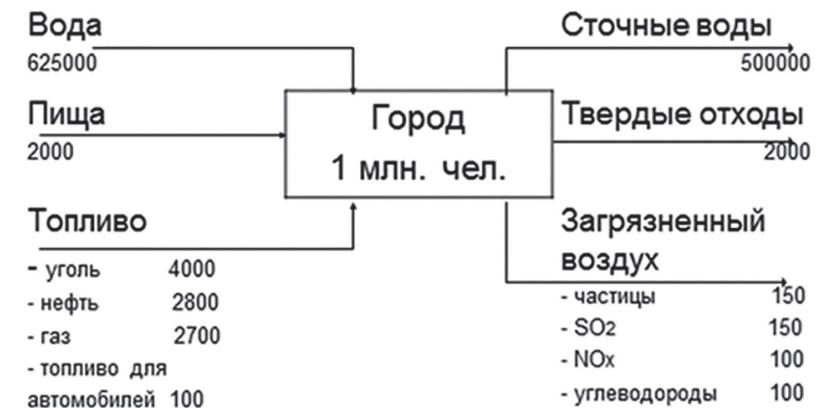


Рисунок 3.2.1. Схема потребления ресурсов, сбросов и выбросов города с населением 1 000 000 человек, т/сут

Наибольшее количество загрязняющих веществ локализуется вблизи источников загрязнения. Основными путями загрязнений экосистем являются воздушные выбросы загрязняющих веществ и их сброс в водоемы со сточными водами. С потоками воздуха и воды они распространяются на значительные территории. Загрязнители из одной среды проникают в другую. Из атмосферного воздуха они с осадками выпадают на почву, в водные объекты, загрязняя их. Загрязнители с городских территорий вместе с поверхностными стоками попадают в водоемы и водотоки, проникают через почву в подземные воды.

Из воздуха загрязнители оседают на поверхности растений, затем проходят по пастбищным (растение — фитофаг — хищник и т.д.) и детритным (отмершее растительное вещество — сапрофаг — хищник) трофическим цепям. Загрязняющие вещества оказывают также непосредственное влияние на живые организмы в процессе дыхания, употребления загрязненной воды и пищи, воздействия через кожные покровы и оболочки, действия радиоактивного излучения и т.д.

При совместном воздействии загрязняющих веществ наблюдается эффект суммации (сочетанное действие). Загрязнители могут подвергаться трансформации, то есть переходить в другие, более токсичные, химические соединения. Например, оксид азота (II) окисляется кислородом атмосферного воздуха до оксида азота (IV). Загрязнители могут взаимодействовать с энергетическими полями и солнечной энергией, превращаясь в более ядовитые и опасные для жизни вещества.

3.3. Приоритетные загрязнители городской среды и их воздействие на биоту

Формы антропогенного влияния на природные сообщества, а в их составе и на биоту весьма разнообразны и прослеживаются на всех уровнях организации биосферы. Можно говорить о воздействии на:

1. субклеточном и клеточном уровнях;
2. тканевом и органном уровнях;
3. организменном уровне;
4. популяционном уровне;
5. биоценотическом уровне.

Некоторые загрязняющие вещества и физические факторы вызывают изменения в организме на клеточном уровне.

К ним относятся:

1. *канцерогены* — вещества или физические агенты, вызывающие и развивающие злокачественные образования;
2. *мутагены* — вещества или факторы, вызывающие мутацию, то есть изменение наследственных свойств организма;
3. *тератогены* — вещества или физические факторы, воздействующие на плод и вызывающие у организмов в процессе их развития уродства.

Некоторые загрязняющие вещества могут быть скрытыми мутагенами, то есть превращаться в мутагены в пищеварительном тракте человека и животных.

Известен также обширный класс веществ, вызывающих аллергические реакции, которые чаще всего проявляются на фоне общего загрязнения городской среды.

В окружающую среду от объектов городской инфраструктуры поступают различные загрязнители:

Органические загрязнители. Промышленное производство, сосредоточенное в городах, служит значительным источником антропогенных органических загрязнителей. Базовым продуктом основного органического синтеза является этилен. На его основе вырабатывается почти половина всех органических веществ. В индустриально развитых странах на долю потерь используемых в промышленности растворителей приходится 20–25% от общей эмиссии углеводородов, среди которых преобладают летучие галогенуглеводороды. Окисление реакционноспособных органических соединений приводит к образованию озона — сильнейшего фитотоксиканта и мутагена. Его концентрация увеличивается

за счет взаимодействия техногенных оксидов азота с фитогенными непредельными углеводородами. В результате действия этилена на некоторые клеточные структуры происходят снижение интенсивности обменных процессов, замедление роста, опадение листьев, переход растений в состояние покоя.

Газообразные неорганические соединения и кислоты. Многие газообразные неорганические вещества в соединении с содержащимися в атмосфере парами воды образуют кислоты, способствующие выпадению кислотных дождей, рН которых ниже 5,5 единиц. Закисление осадков происходит чаще всего вследствие попадания в атмосферу оксидов серы и азота. Источники сернистого газа (двуоксида серы) — дымовые газы котлов тепловых электростанций и выхлопы двигателей внутреннего сгорания. При высоких температурах в этих устройствах азот воздуха частично окисляется, образуя смесь моно- и диоксида азота.

У растений диоксид серы нарушает процессы фотосинтеза, дыхания и транспорта органических веществ. Замедляется их рост, повреждаются листья, снижается продуктивность. Токсичная для растений концентрация диоксида серы — 20 мкг/м³ воздуха. Серная кислота образуется при соединении серного ангидрида с атмосферной водой, повреждает в первую очередь зеленые ткани растений. Это приводит к ухудшению физиологического состояния древесных растений, их усыханию. Во второй половине XX в. было отмечено явление постепенного усыхания лесов, главным образом под влиянием кислотных дождей, в Северной Европе от них сильно пострадали примерно 50% деревьев, прежде всего хвойных пород. Вокруг промышленных центров наблюдаются повреждение и усыхание вершин, а затем и целых деревьев. Легкие хронические повреждения деревьев происходят при среднегодовой концентрации сернистого газа в воздухе 10–30, средние — 20–40, сильные — более 70 мкг/м³. При весеннем таянии снега серная кислота вызывает кислотный шок у корней растений. Корни частично усыхают, начало вегетации растений запаздывает на несколько недель, деревья поражаются болезнями и вредителями. Под действием кислотных дождей и снегов за 1955–1985 гг. сильно понизился водородный показатель тысяч озер Европы и Северной Америки, что привело к резкому обеднению фауны, гибели водных организмов. При понижении рН почвенных растворов увеличивается подвижность токсичных металлов.

Диоксид азота в 1,5–5,0 раз менее токсичен, чем диоксид серы. Древесные растения поглощают из воздуха и нейтрализуют в органах ассимиляции значительное количество окислов

азота и аммиака. У неустойчивых растений под влиянием окислов азота уменьшается содержание белков и пигментов, нарушаются процессы роста и развития, анатомо-морфологическая структура листьев, фотосинтетический аппарат, происходит периферическое повреждение листьев, скручивание их вовнутрь, некроз и отмирание листовых пластинок.

Тяжелые металлы. К тяжелым металлам относятся металлы, плотность которых выше 5 г/см^3 . По содержанию в животных и растениях они входят преимущественно в группу микроэлементов (10^{-3} – $10^{-5}\%$). В повышенных концентрациях они обладают высокой токсичностью, выступают в качестве мутагенных и канцерогенных факторов, входя в состав основных экотоксикантов.

За счет антропогенных загрязнений в окружающей среде концентрация кадмия превышает содержание в естественных условиях почти в 9 раз, меди — в 3, никеля — в 2, свинца — более чем в 18, цинка — в 7 раз. Только от металлургических предприятий ежегодно поступает не менее 154,6 тыс. т меди, цинка — 121,5, свинца — 89,0, никеля — 12,0, кобальта — 0,8, молибдена — 1,5, ртути — 0,03 тыс. т. Вследствие сжигания угля и нефти ежегодно выпадает ртути 1,6 тыс. т, свинца — 36,0, меди — 2,1, цинка — 0,7, никеля — 3,7 тыс. т. В живых организмах тяжелые металлы в избыточном количестве вызывают нарушения биохимических процессов обмена веществ, подавляя или активируя деятельность многих ферментов. Тяжелые металлы представляют наибольшую угрозу для первых стадий развития растений (проростков, всходов). Под их действием ухудшается рост корней побегов, происходит некроз листьев. В зоне выбросов предприятий цветной металлургии почва становится токсичной для растений уже через 4 года. Среди тяжелых металлов Be, Al, Cr, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Te, Pb токсичны во всех своих водно-, щелоче-, кислоторастворимых соединениях. Концентрация тяжелых металлов в растениях в значительной мере зависит от их содержания в почве, а в теле животных — от их количества в пище. Имеют значение также видовые особенности растений и животных. Группу неорганических экотоксинов возглавляют **кадмий, свинец и ртуть**.

Радионуклиды. Высокой токсичностью для живых организмов обладают радионуклиды, особенно долгоживущие в связи с их радиоактивными свойствами, обусловленными ионизирующим излучением. Для радионуклидов характерны три вида радиоактивного излучения: α , β и γ .

α -излучение — это поток положительно заряженных атомов гелия. Они движутся сравнительно медленно, не проникают внутрь организма, будучи остановленными, они вызывают сильную локальную ионизацию.

β -излучение — это поток быстро движущихся электронов. Свою энергию они отдают на протяжении более длительного следа.

γ -излучение представляет собой электромагнитное излучение, обладающее очень большой проникающей способностью. Его лучи не имеют электрического заряда, легко проникают в вещество, вызывая разрушение ДНК, генные мутации, хромосомные перестройки. По радиоэкологической значимости наибольший вклад в радиационную нагрузку вносят следующие элементы: ^3H , ^{14}C , ^{137}Cs , ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}P , ^{239}Pu , ^{90}Sr .

Среди растений наиболее высокой радиационной устойчивостью обладают водоросли, *лишайники*, *мхи*. Среди семенных растений наиболее радиочувствительны хвойные породы. Травы примерно в 10 раз устойчивее деревьев. Сравнительно высокие показатели радиостойчивости характерны для почвенных простейших, бактерий.

Полиароматические углеводороды и диоксины. Среди органических веществ наиболее опасными из множества токсичных соединений, образующихся при сжигании ископаемых топлив, мусора, медицинских отходов, производства химической, нефтехимической, металлургической и целлюлозно-бумажной промышленности являются **полиароматические углеводороды (ПАУ)** и особенно **диоксины**. Среди них наибольшей канцерогенной токсичностью обладают **бенз(а)пирен, холантрен, перилен, дибенз(а)пирен**. Вместе с другими продуктами сгорания ПАУ поступают в воздух. При охлаждении горячих газов ПАУ конденсируются вблизи источников выбросов, но их большая часть уносится на дальние расстояния в виде аэрозолей. Хорошим адсорбентом для ПАУ служат сажевые частицы. Присутствуют ПАУ и в питьевой воде (допустимый предел содержания ПАУ в воде — 200 нг/л). **Высокой токсичностью обладают около 30 хлорзамещенных диоксинов**. Для образования диоксинов необходимы повышенная температура, наличие органических, особенно ароматических веществ и хлора. Половина суммарного выброса диоксинов приходится на мусоросжигательные заводы и сжигатели медицинских отходов. Заметную добавку к выбросам диоксинов в атмосферу приносят лесные пожары и работающие на угле теплоэлектростанции. В России основным источником диоксинов являются предприятия химической промышленности и целлюлозно-бумажные

комбинаты, на которых применяют хлорную отбелку целлюлозы. Диоксины обладают политоксичностью. Для них не существует норм ПДК. Период полувыведения диоксинов составляет от 1 года до 10 лет. Длительное воздействие диоксинов в ничтожных концентрациях приводит к росту числа онкологических заболеваний, гибели плода в матке, рождению детей с физическими и психическими уродствами, к снижению и потере иммунитета, утрате фертильной мужской спермы. Значительный вклад в загрязнение окружающей среды углеводородами вносит нефте- и газодобывающая промышленность. Нефтепродукты оказывают наибольшее отрицательное влияние на почву, загрязняя ее основными органическими компонентами нефти: **органическим углеродом, азотом, битумозными веществами, полициклическими ароматическими углеводородами**, в частности **3,4-бенз(а)пиреном, 1,2-бенз(а)периленом**, обладающим канцерогенными и мутагенными свойствами.

Химические средства защиты растений используются для борьбы с насекомыми (**инсектициды**), клещами (**акарициды**), моллюсками (**моллюскоциды**), нематодами (**нематоциды**), грызунами (**родентициды**), возбудителями грибных болезней растений (**фунгициды**), сорняками (**гербициды**). По химическому составу они образуют три основные группы: **неорганические соединения** (фтора, бария, серы и др.), **органические соединения** (хлорорганические, фосфорорганические, производные органических кислот, синтетические пиретроиды, нитрофенолы и др.), **биологические препараты растительного, бактериального и грибного происхождения**.

Из всех применяемых в настоящее время пестицидов наиболее опасными считаются **хлорорганические соединения**. Они отличаются наибольшей стойкостью и высокой токсичностью, особенно для водной фауны. По мере возрастания содержания в организме остаточных количеств пестицидов позвоночные располагаются в следующем порядке: **растительноядные – всеядные – хищные виды**.

Воздействие загрязнителей на биологические объекты

Воздействие на лишайники

Основные причины низкой устойчивости лишайников к атмосферному загрязнению следующие: высокая чувствительность водородного компонента лишайников, пигменты которого под действием загрязнителей быстро разрушаются; отсутствие защитных покровов и связанное с этим беспрепятственное поглощение газов слоевищами лишайников; повышенная требовательность к кислотности субстрата, изменение которой сверх определенного предела приводит к гибели лишайников; небольшие размеры их тела и значительная

продолжительность жизни. Аккумулируя загрязняющие вещества из атмосферы, лишайники гибнут при хроническом воздействии даже их низких концентраций. Лишайники нормально растут и обильны на стволах деревьев при концентрации окислов серы 3–7 мкг/м³. При концентрации сернистого ангидрида (SO₂) 30 мкг/м³ исчезают некоторые роды эпифитных лишайников (уснеа, лобария, рамалина, кладония, гипогимния). Высокая летальность лишайников при фумигации SO₂ обусловлена их слабыми защитными возможностями. Летальная доза SO₂ для многих лишайников составляет в среднем около 52 мкг/м³.

Лишайники аккумулируют также значительное количество тяжелых металлов. Их высокие дозы изменяют мембранную проницаемость для катионов калия, влияют на скорость фотосинтеза, свойства хлорофилла лишайников. Содержание многих тяжелых металлов в лишайниках сравнительно адекватно отражает их распределение приземном слое атмосферы, (кроме марганца).

Воздействие на грибы

Грибы представляют гетерогенную по происхождению, эволюционному уровню, морфологии и питанию группу организмов с широким диапазоном реакций на действие экологических факторов. У первично водных сапролегниевых грибов (оомицеты) с подвижными, лишенными клеточной стенки, зооспорами нарушения жизненного цикла происходят даже при небольших изменениях содержания калия и кальция в окружающей среде. С другой стороны, наличие толстостенных многоклеточных спор повышает устойчивость многих дейтеромицетов к высоким концентрациям тяжелых металлов, термическому, радиационному воздействию.

При загрязнении почв тяжелыми металлами у многих микромицетов происходит усиление споруляции. Так, при содержании кадмия 100 мг/кг почвы количество грибных спор возрастает в 2–5 раз. Напротив, содержание мицелия почвенных микромицетов при высоком загрязнении тяжелыми металлами может снижаться в 2–3 раза. При промышленном и транспортном загрязнении тяжелыми металлами комплекс почвенных микромицетов обедняется, снижается разнообразие видов, упрощается структура, индекс разнообразия Шеннона уменьшается в 1,5–2 раза. Чем беднее почвы, тем более сильное влияние оказывают тяжелые металлы на микромицеты. При небольших дозах загрязнения разнообразие видов может несколько увеличиваться.

При высоком загрязнении соединениями ртути и кадмия в дерново-подзолистых почвах начинают преобладать виды *Aspergillus niger* и *Aspergillus terreus*, не типичные для этих почв.



Наибольшая чувствительность к тяжелым металлам проявляется у видов, имеющих узкий ареал распространения. В оподзоленных почвах один из самых чувствительных видов *Mortierella ramannia*, в черноземах — *Acremonium ramosum*. У чувствительных видов тяжелые металлы тормозят развитие спорангиев, снижают скорость спорообразования, прорастания спор, рост мицелия.

Наиболее устойчивы к загрязнению виды с широкими ареалами. В черноземных почвах с высоким содержанием тяжелых металлов обильно представлены грибы рода *Penicillium*. Высокие концентрации кадмия выдерживает *Raecilomyces lilacinum*. Устойчивые к высоким загрязнениям тяжелыми металлами виды рода *Penicillium* обладают фототоксичным действием на прорастание семян.

Высшие шляпочные грибы — макромицеты из группы гименомицетов класса базидиальных — как микоризообразователи, вступающие в симбиотические отношения с корнями древесных растений, усиливают поступление химических элементов, в частности тяжелых металлов, в деревья. К высокомикотрофным древесным породам относятся: дуб, береза, осина, бук, граб, лещина, ель, сосна. Показателем загрязнения почв тяжелыми металлами служит их содержание в плодовых телах шляпочных грибов. Коэффициент корреляции между содержанием свинца и кадмия в почве и капрофорах подберёзовиков, подосиновиков и груздей составляет около 0,7. При росте концентрации в почве меди, цинка и марганца степень их накопления в капрофорах уменьшается.

В водных экосистемах грибы являются составляющими практически всех биотопов, они входят в состав нейстонного, планктонного, бентосного и перифитного населения. Низшие первично водные грибы из классов оомицетов и хитридиомицетов имеют, как правило, короткий жизненный цикл развития и подвижные жгутиковые зооспоры. Изменения видового состава, встречаемости и обилия отдельных видов оомицетов могут характеризовать уровень сапробности (содержания растворенных органических веществ) среды, загрязнения бытовыми сточными водами, отходами целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности. К типичным обитателям сточных вод относятся лептомитовые грибы, из которых наиболее известен род *Leptomitus*, представитель этого рода лептомитус молочный (*L. Lacteus*) — индикатор сильнозагрязненных полисапробных вод. Однако не все органические загрязнители усваиваются ими. В частности, углеводороды нефти подавляют развитие оомицетов. Высокие значения pH воды, а также высокое содержание азотных и фосфорных соединений способствуют лизису зооспор

видов рода питуум *Puthium*. На некоторые другие виды оомицетов угнетающее действие оказывают, напротив, низкие значения pH.

Среди вторично водных грибов наиболее изученной группой являются водные несовершенные грибы порядка гифомицетов. Видовой состав комплекса гифомицетов в значительной степени зависит от химических особенностей, температуры воды, количества растворенного кислорода. Водные гифомицеты практически не реагируют на загрязнение пестицидами, включая ДДТ, но испытывают угнетающее действие при контакте с нефтепродуктами, бытовыми и промышленными стоками сахарных, спиртовых и других предприятий с высоким содержанием органических веществ. В воде, как и в почве, загрязненной нитратами и фосфорными соединениями, значительно возрастает жизнеспособность конидий отдельных видов гифомицетов рода *Fusarium*, обладающих фитопатогенными свойствами.

Воздействие на семенные растения на субклеточном и клеточном уровне

При сильных воздействиях природных или антропогенных факторов, получивших название стрессоров, у живых организмов, включая семенные растения, возникают нарушения физиологических процессов и состояния напряжений (стрессы). Стрессовые реакции организмов выражаются прежде всего в происходящих в клетках биофизических изменениях, направленных на преодоление действий этих факторов.

Химические вещества протоплазмы клетки. Под влиянием стрессора происходят изменения в обмене органических веществ клетки (аминокислот, белков, ферментов, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот, гормонов, витаминов и др.). Отмечается уменьшение содержания растворимых белков в результате их расщепления до аминокислот под влиянием какого-либо стрессора, в высших растениях при этом наблюдается накопление аминокислоты пролин еще до появления видимых симптомов повреждений. Среди стрессоров подобное действие оказывает диоксид серы (SO_2). У многих ферментов при низких концентрациях стрессора наблюдается стимуляция активности, а при повышенных концентрациях — ее подавление. С ростом загрязнения газодымовыми выбросами происходят значительные изменения состава углеводов, жирных кислот, в частности увеличивается концентрация моносахаридов, линолевой и линоленовой кислот.

Среди фитогормонов абсцизовая кислота, этилен усиленно выбрасываются при водном дефиците, солевом и осмотическом стрессе, подавляя рост корня и ускоряя процессы старения растений,

созревания плодов, опадения листьев и плодов. Этилен может быть использован также в качестве индикатора начальных стадий поражения растений патогенами. Участвуя в системе защиты растений, он индуцирует синтез большого числа ферментов, разрушающих клеточную стенку грибов, бактерий и т.д., а также ферментов, ускоряющих синтез фитоалексинов — соединений, ядовитых для патогена.

Субклеточные системы. На субклеточном уровне стрессоры вызывают изменения в строении и функционировании оргanelл клетки. Важнейшую роль при этом играют биомембраны. К одномембранным органеллам клетки эукариотов относятся эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы, вакуоли; к двумембранным — ядро, митохондрии и пластиды; к немембранным — рибосомы, хромосомы, микротрубочки. Особое положение занимает наружная цитоплазматическая мембрана клетки (плазмолемма). Плазмолемма обладает полупроницаемостью, обуславливая избирательное пропускание в клетку и из нее различных молекул и ионов. Важным показателем целостности наружной цитоплазматической мембраны служит соотношение в клетке количества катионов калия и натрия. В клетках эукариотов катионов калия в 50–60 раз больше, а ионов натрия в 9 раз меньше, чем в окружающей межклеточной жидкости. Чтобы повлиять на физиолого-биохимические реакции клетки стрессор в активной форме должен проникнуть через ее плазмолемму. Первым пунктом воздействия содержащихся в воздухе загрязняющих неорганических и органических соединений на растения являются устьица их листьев. Вместе с воздухом эти вещества диффундируют через межклеточные пространства и, растворяясь в воде клеточной стенки, разрушают наружную клеточную мембрану, повышая ее проницаемость. Наиболее простой метод выявления целостности плазмолеммы заключается в определении содержания калия и натрия в клетках и в межклеточной жидкости или по скорости выхода калия через мембрану в межклеточное пространство. Проникая через мембрану, газообразные неорганические соединения оказывают влияние на pH клеточных растворов. Окислы неметаллов SO_2 , NO_2 и др. при взаимодействии с водой увеличивают, а аммиак, напротив, уменьшает их кислотность. Как известно, от pH клеточных растворов зависит активность ферментов, поэтому изменение кислотности приводит к нарушению обмена веществ.

Изменения клеток. При газообразном загрязнении SO_2 происходит уменьшение размеров клеток, эпидермиса листьев, толщины годичных колец и их выпадение; увеличение клеток смоляных

ходов у сосны, числа устьиц, толщины кутикулы; густоты опушения; отслаивание протоплазмы от клеточной стенки (плазмолиз). В областях, незагрязненных выхлопными газами, хвоя дает выпуклый, а в условиях загрязненного воздуха — вогнутый плазмолиз.

Макроскопические реакции семенных растений на различные стрессоры проявляются прежде всего в изменении окраски листьев, к которым относятся хлорозы, пожелтения, побурение, побронзовение, посеребрение листьев и т.д. Хлороз выражается в побледнении окраски листьев между жилками при слабом воздействии газообразных веществ. Пожелтение краев или определенных участков листьев происходит у лиственных деревьев под влиянием хлоридов. Покраснение листьев у смородины отмечено под влиянием SO_2 . Побурение, побронзовение, посеребрение листьев, видимость листьев, пропитанных водой, представляют собой первые стадии тяжелых некротических повреждений у лиственных и хвойных деревьев. У табака посеребрение поверхности листьев происходит под действием озона.

Некрозы — это отмирание ограниченных участков ткани листьев. Некрозы бывают точечные и пятнистые (отмирание тканей листовой пластинки в виде точек или пятен), межжилковые (отмирание листовой пластинки между жилками первого порядка), краевые (отмирание ткани по краям листа), «рыбьего скелета» (сочетание межжилковых и краевых некрозов), верхушечные (темно-бурые, резко ограниченные некрозы кончиков хвои у ели, пихты, сосны, или белые обесцвеченные некрозы верхушек листьев у декоративных культур) (рис. 3.3.1). При развитии некрозов после гибели клеток пораженные участки оседают, высыхают и за счет выделения дубильных веществ часто окрашиваются в бурый цвет у деревьев или спустя несколько дней выцветают до беловатой окраски у однодольных. Количественную оценку некрозов дают путем определения поврежденной доли листовой поверхности. Широкое развитие некрозов у растений приводит к опадению листьев, усыханию вершин деревьев и их гибели. Примерами опадения листьев (дефолиации) служат сокращение продолжительности жизни и осыпание хвои ели, сосны, отмирание листьев у смородины, крыжовника под действием SO_2 , опадение листьев у липы под влиянием соли, применяемой для таяния снега. Дефолиация приводит к сокращению площади ассимилирующей поверхности и прироста, преждевременному образованию новых побегов за счет трогающихся в рост спящих почек.



Рисунок 3.3.1. Формы некрозов на листьях цветковых растений и на хвое (Шуберт, 1988)

Например, в окрестностях предприятий, производящих удобрения, хвоя сосны удлиняется под действием нитратов и укорачивается под влиянием сернистого газа. При изменении уровня залегания грунтовых вод меняются направление роста и особенности ветвления корней у одуванчика (рис. 3.3.2). В условиях устойчивого сильного загрязнения атмосферы у липы получает распространение кустовидная форма растений.

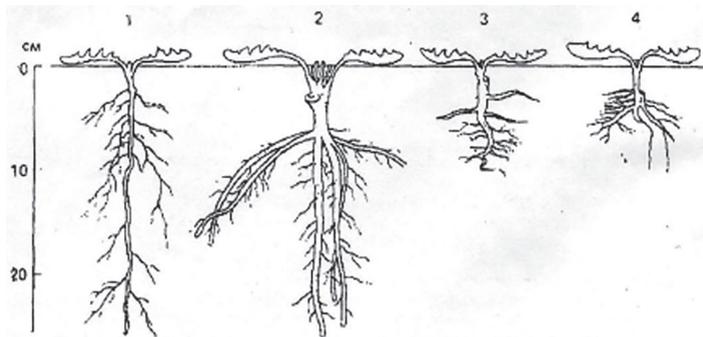


Рисунок 3.3.2. Изменение направления роста корней у одуванчика в зависимости от уровня грунтовых вод: 1 — сухой луг; 2 — свежий; 3 — сырой луг; 4 — заболоченная территория (Шуберт, 1988)

У хвойных различают легкие, средние, сильные и очень сильные хронические повреждения хвои при воздушном загрязнении (табл. 3.3.1). Некрозы чаще появляются весной после образования хвои.

Ель и сосна нормально развиваются при среднегодовом содержании SO_2 в воздухе около $7-9 \text{ мкг/м}^3$. В чистом воздухе хвоя, особенно на молодых елях, держится 14–16 лет. Возраст хвои ели 6–10 лет свидетельствует об ухудшении качества воздуха в последние 3–5 лет до уровня предельно допустимых концентраций SO_2 (50 мкг/м^3). При возрасте еловой хвои 2–3 года качество воздуха в 10–15 раз хуже санитарных норм и среднее содержание SO_2 в нем составляет $500-750 \text{ мкг/м}^3$. Подобные деревья обречены на гибель.

У сосны хвоя живет до 5–6 лет. При средних концентрациях SO_2 в воздухе около 50 мкг/м^3 продолжительность ее жизни сокращается до 2–3 лет. По состоянию и продолжительности жизни хвои можно оценивать степень загрязненности воздуха. Лиственница более устойчива к загрязнениям в связи с ежегодным сбрасыванием листьев. Она нормально растет при концентрации SO_2 $10-50 \text{ мкг/м}^3$.

Среди древесных пород, культурных и декоративных семенных растений сосна обыкновенная, ель, пихта наиболее чувствительны к повышенному содержанию в воздухе сернистого газа и хлора; гречиха, люцерна, горох — сернистого газа; яблоня, слива, вишня, лук, петрушка, тюльпан гладиолус, ландыш — фтористого водорода; липа, береза, сельдерей, махорка — аммиака; смородина красная, фасоль, томат, петуния — хлора. Они могут быть использованы в качестве индикаторов указанных загрязнителей воздуха. Смородина красная, шпинат и табак являются хорошими индикаторами загрязнения воздуха озоном, вызывающим посеребрение верхней стороны листьев.

Таблица 3.3.1.

Влияние загрязнений воздуха сернистым газом на состояние хвои ели и сосны

Хронические повреждения хвои	Физиологические и морфологические изменения хвои	Среднегодовое содержание SO_2 в воздухе, $мкг/м^3$
Легкие	Повышение содержания в клетках SO_2 , снижение интенсивности фотосинтеза, повышение интенсивности транспирации, укорочение длины хвоинки, продолжительности ее жизни	10–30
Средние	Изменение цвета хвои, увеличение грибных болезней	20–40
Сильные	Некроз хвои	70–100
Очень сильные	Потеря хвои, ажурность кроны, суховеершинность	>100–120

Диоксид серы способствует развитию межжилковых некрозов и хлорозов (люцерна, гречиха, горох, клевер), фтористый водород — некрозов верхушек и краев листьев (гладиолус, тюльпан, петрушка), пероксиацетилнитрат — полосчатых некрозов на нижней стороне листьев (крапива, мятлик), двуокись азота — межжилковых некрозов (шпинат, махорка, сельдерей), хлор — побледнению листьев, деформации хлоропластов (шпинат, фасоль, салат). Под действием соли, применяемой в городах для таяния льда и снега, на листьях липы и других лиственных деревьев сначала появляются ярко-желтые, неравномерно расположенные краевые зоны, затем край листа отмирает, а желтая зона продвигается к середине и к основанию листа.

При загрязнении радионуклидами содержание марганца в золе мать-и-мачехи, крапивы двудомной, хвоща лесного, щитовника мужского, мхов уменьшается на промплощадке до 0,03–0,05%, в лесу до 0,12–0,19%, при норме — 0,25–0,60%. Марганец играет важную роль в процессах фотосинтеза и в азотном обмене. Поглощение растениями радионуклидов ведет к перестройке механизма и азотного обмена, роль марганца начинают выполнять радионуклиды. При этом дополнительным индикаторным признаком загрязнения радионуклидами

является возрастание в 2 раза частоты хромосомных aberrаций в мужских половых клетках в пыльниках растений. Люпин, эспарцет, люцерна, клевер испытывают радиостимуляцию при малых и более высоких дозах. Среди растений наиболее радиочувствительны хвойные породы. Лиственные породы в 5–6 раз устойчивее хвойных, а травы в 10 раз устойчивее древесных растений. Мхи и лишайники исключительно устойчивы к радионуклидному облучению.

На популяционном уровне влияние загрязняющих веществ проявляется в изменении продуктивности, численности и возрастного состава популяций, обеднении их экотипов, переходе в ряде случаев к вегетативному размножению, ухудшении возобновления, а на биоценотическом — в снижении продуктивности, видового разнообразия, устойчивости фитоценозов.

Наиболее чутко на загрязнения реагирует продуктивность. Она может многократно возрасти в результате ослабления конкурирующих видов. В нарушенных растительных сообществах доля популяций с большой численностью обычно выше, чем в ненарушенных, а популяции с малой численностью находятся под большой угрозой вытеснения и исчезновения. В результате антропогенных нарушений одни популяции могут омолаживаться, а другие — стареть в результате изменения естественного возобновления и продолжительности жизни.

Антропогенное влияние на растительный покров рекреационных зон оказывает многообразное по своим результатам воздействие. Одним из признаков негативного влияния на природные биогеоценозы в случае рекреационного использования является вытаптывание отдыхающими как растительного, так и почвенного покрова, состояние которого используется для определения степени рекреационной дигрессии.

В случае рекреационной дигрессии леса исследователи чаще всего различают пять стадий, обычно руководствуясь при этом состоянием растительности. Так, выделяют 5 стадий рекреационной дигрессии:

- » травяной покров не нарушен и соответствует типу леса, подстилка не нарушена. Подлесок и подрост соответствуют условиям местопроизрастания и не повреждены;
- » травянистый покров мало нарушен. Выражена ярусность травянистого покрова. Подлесок и подрост удовлетворительный или хороший. В древостое преобладают деревья хорошего и удовлетворительного состояния (75–90%);
- » травянистый покров нарушен, количество лесных и луговых трав уменьшено. Появляются сорные и луговые травы,

не характерные для условий произрастания. Сохранившийся подрост мало дифференцирован. Почти нет всходов коренных лесообразующих пород;

- » травяной покров деградирующий. Резко увеличивается фитомасса и численность сорных и луговых растений. Подстилка в стадии разрушения. Своеобразная структура сообщества в виде чередования куртин подлеска из мало-жизненного подроста, ограниченного полянами и тропами;
- » травянистый покров, характерный для данных условий местопроизрастания, деградирован. Покрытие и фитомасса сорных и луговых растений намного больше, чем лесных, которые сохраняются только у основания стволов. Подстилка в стадии полного разрушения. Подрост и подлесок почти полностью отсутствуют. Сильно увеличена освещенность под пологом. Деревья имеют механические повреждения, усыхают. У значительной части деревьев корни обнажены и выступают на поверхность.

Кроме вытаптывания, основными рекреационными воздействиями на растительный покров являются уплотнение почвы и ее загрязнение, поломка растений, удаление фитомассы целых растений или их частей.

Биологическое разнообразие животного мира городов увеличивается от центра к периферии, где основная часть животных концентрируется на территориях с сохранившимися природными местообитаниями, насыщенными зелеными насаждениями. Здесь довольно обычны не только мелкие животные типа различных видов беспозвоночных (насекомых, пауков, дождевых червей и т.п.), но встречаются и крупные представители позвоночных животных (лоси, кабаны и др.).

В центральной части города видовое разнообразие животных минимальное. Наиболее обычны здесь виды, обладающие высокой экологической пластичностью: домовые мыши, крысы, воробьи, вороны, галки, голуби. Наиболее разнообразны здесь беспозвоночные животные, многие из которых приспособились к постоянному обитанию в жилище человека. Экологическое своеобразие отдельных городских местообитаний животных зависит прежде всего от антропогенных форм их использования. Соответствующие структурные единицы можно сравнивать между собой, поскольку эти формы использования в различных городах схожи.

Почвы, климат, антропогенные ноксы (ноксами принято называть вредные для живого агенты, как правило, загрязнители сред, биоциды и т.п.), растительность, другие пищевые ресурсы и наличие

специфических структурных элементов в отдельных городских местообитаниях имеют более или менее сильные различия, что во многих случаях ведет к образованию характерных зооценозов. Мозаичное распределение местообитаний животных накладывает на более или менее выраженное зонирование городской среды от центра к окраине. Поэтому в зависимости от их расположения в одинаковых типах местообитаний прослеживаются эколого-фаунистические различия, выявление которых является главной предпосылкой для описания городских градиентов.

Некоторые факторы смертности животных в условиях города проявляются особенно сильно (табл. 3.3.2). Ущерб, наносят зоопопуляциям изменение местообитаний, применение пестицидов, интродукция гемерохорных растений («эффект ловушки», токсичность пыльцы и нектара), образование островных местообитаний, антропогенное влияние на конкуренцию и хищничество.

Таблица 3.3.2.
Техногенно обусловленные факторы смертности животных в городских условиях

Фактор	Вид воздействия	Примеры
Скашивание, выжигание травы	Прямое уничтожение фауны травного яруса и поверхности почвы, разрушение местообитания, сокращение пищевых ресурсов	Сокращение численности ломкой ветреницы
Строительные и транспортные работы	Строительные котлованы и ямы как ловушки, перемещение грунта и выравнивание почвы, заполнение прудов	После заполнения пруда весной на поверхности воды найдено 400000 мертвых жуков
Структура построек и материала	Покрытия из полимерных пленок, чердаки как ловушки; столкновение со стеклянными фасадами, проволокой, оградами; высыхание при пересечении участков с искусственным покрытием	Златоглазки, дневные бабочки, летучие мыши, сипухи и др. птицы, улитки, дождевые черви, мокрицы

продолжение таблицы 3.3.2.

Фактор	Вид воздействия	Примеры
Свойства материалов	Прилипание к смоле и свежей краске, масляной пленке и жидкостям, приманивающее действие известковой пыли	Пчелы, двукрылые, жуки
Засасывающие и нагнетающие воздух устройства	Воздушные фильтры	Один воздушный фильтр засасывает и убивает за год пять миллионов насекомых, мелкаячеистая сетка уменьшает это количество до 20000
Привлечение в неподходящие условия	Источники света, оптические обманы (жестяные крышки привлекают водных насекомых), выброшенные бутылки и пластмассовые коробки как ловушки	Дефектная мощная лампа за ночь может уничтожить 100000 насекомых

Соответствующие факторы в основном являются феноменами XX в., и животные не успели выработать к ним никаких специальных адаптаций. Для большинства позвоночных животных максимальная смертность на дорогах приходится на летние месяцы. Наиболее часто гибнут европейский еж, домовый и полевой воробьи, дрозды. Летний максимум гибели обусловлен прежде всего активностью самцов в период спаривания, осенний — повышенной активностью, связанной с накоплением на зиму жировых запасов, увеличением плотности популяции и поиском мест зимовки.

Процесс трансформации экосистемы в целом под действием промышленно-транспортных загрязнителей схематично можно представить, как последовательность определенных стадий.

1. Выпадения чувствительных видов (лишайников) при сохранении основных параметров экосистемы (фоновая нагрузка превышена в 1,5–2,0 раза).

2. Структурных перестроек экосистемы (превышение фоновой нагрузки в 2,7–4,0 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 6,0–7,0 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. Биологическая активность почвы резко снижена. Крупные почвенные сапрофаги отсутствуют. Уменьшена скорость деструкции 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). 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.

Две последние стадии паталогичны и переход к ним означает для экосистемы полную потерю устойчивости как способности возвращаться в исходное состояние.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие техногенные факторы действуют на территории городов?
2. Классификация загрязнителей и источников загрязнения городской среды.
3. Чем обусловлена опасность выбросов автотранспорта?
4. Какие изменения могут вызывать загрязняющие вещества в организме?
5. Как воздействуют загрязнения на лишайники?
6. Какие изменения популяций и растительных сообществ происходят при загрязнении?
7. Как воздействуют загрязнения на семенные растения на субклеточном и клеточном уровне?
8. Какие изменения происходят у семенных растений на тканевом и органном уровне?
9. Как проявляются урбанистические факторы смертности животных?
10. Какова реакция экосистем на промышленно-транспортные загрязнения?

4. Биота урбанизированных территорий

4.1. Пути формирования биоты на урбанизированных территориях

С возникновением современных городов связано появление, генезис и микроэволюция экосистем города, которые включают в себя широкий спектр различных систематических групп организмов, занимающих определенные станции на городской территории.

В городах возникают особые условия, в которых формируются популяции и видовые сообщества, заметно отличающиеся от естественных. На территориях антропогенных ландшафтов, в том числе и городских, биота подвергается глубокой и длительной трансформации.

Видовой состав и структура популяций и сообществ, как правило, не случайны, а являются отражением объективных процессов, протекающих в специфических условиях урбанизированных территорий.

Многообразие путей формирования флоры и фауны на урбанизированных территориях может быть представлено несколькими схемами.

1. «Поглощение» городом местообитаний вида в пределах существующего ареала. В результате этого процесса флора и фауна города пополняются за счет автохтонных (аборигенных) видов, которые адаптируются к условиям урбанизации и существуют в городе со стабильной или увеличивающейся численностью, а часть

этих видов, которые не могут адаптироваться к новым условиям, исчезают из прежних местообитаний. Вероятность исчезновения прямо пропорциональна степени нарушения местообитаний и обратно пропорциональна численности популяций вида. Б. Клаусницер (1990) отмечает, что в составе фауны городов доля аборигенных видов в большинстве случаев меньше, чем доля иммигрировавших.

2. «Смена биотопов» и вселение в город прежде неурбанизированных видов. В этом случае флора и фауна города также пополняются за счет местных видов, которые, как правило, не являются узкоспециализированными и имеют высокий потенциал адаптации к условиям жизни в городе. Популяции этих видов в городах становятся в большей степени синантропными, чем исходные популяции. Так, например, сформировались новые синантропные экологические расы вяхиря (*Columba palumbus* L.) и черного дрозда (*Turdus merula* L.) в городах Западной и Центральной Европы (рис. 4.1.1, 4.1.2).



Рисунок 4.1.1. Вяхирь (*Columba palumbus* L.)

Рисунок 4.1.2. Черный дрозд (*Turdus merula* L.)

По этой же схеме в города проникают солелюбивые и водно-болотные виды растений, если в результате использования соли для таяния снега и льда, и подтопления формируются городские местообитания с соответствующими условиями. Вероятность пополнения флоры и фауны городов видами по данной схеме выше в тех случаях, когда исходные местообитания вне города связаны системой «коридоров» с их городскими аналогами.

3. Формирование новых экологических ниш, которые занимаютя видами-переселенцами из других географических областей в соответствии с их экологическими требованиями. Пополнение

флоры и фауны городов по этой схеме предполагает наличие у видов механизмов активного и пассивного расселения. Активное расселение характерно для всех подвижных животных, а также тех растений, у которых имеются ползучие или «лазящие» побеги либо специальные (гидропневматические) механизмы разбрасывания семян.

Примерами могут быть произрастающий на засоренных местах бешеный огурец (*Echium elaterium* (L.) A. Rich) или распространившийся в последнее время североамериканский вид эхиноцистис шиповатый (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray), произрастающий на переувлажненных засоренных местах в поймах рек в городах и пригородах (рис. 4.1.3).



Рисунок 4.1.3. Эхиноцистис шиповатый (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray)

Во многих случаях подобного распространения видов активному освоению новых территорий предшествует, как правило, случайный занос или целенаправленная интродукция. Пассивное расселение характерно для большинства видов растений и многих животных: земноводные (на стадии яйца или личинок), рыбы, насекомые, паукообразные, паразитические черви, простейшие, причем у ряда видов животных активное расселение часто комбинируется с пассивным. Агентами пассивного переноса организмов или их частей (семена, плоды) являются ветер (в этом случае процесс переноса называется анемохорией), вода (гидрохория), животные (зоохория), человек (антропохория). Повсеместно преобладающая часть новых видов, попадающих в города из других географических

регионов, были занесены или завезены человеком, и лишь после вселения виды с пассивным расселением используют характерных для них агентов переноса для закрепления в новых местообитаниях. Наиболее благоприятные условия такие виды находят чаще всего в нарушенных антропогенных ландшафтах, а их расселению способствует развитая дорожная и торговая сеть.

4. Комбинированная схема — результат процессов пассивного расселения и «смены биотопов» прежде неурбанизированных видов.

Процессы формирования урбанизированной флоры и фауны представлены на рисунке 4.1.4.



Рисунок 4.1.4. Пути формирования флоры и фауны городов

Особое место в преднамеренном переселении видов занимает реинтродукция, заключающаяся в возврате видов, ранее обитавших в данной местности, но потом исчезнувших по вине человека.

4.2. Основные особенности урбанизированных биогеоценозов

На территории города можно выделить достаточно крупные биотопические единицы (группы макробиотопов), практически совпадающие с классами антропогенного ландшафта и пригодные для наиболее общей характеристики растительного покрова и животного населения любого города:

- » водные и болотные биотопы;
- » биотопы застроенных территорий;
- » биотопы автомобильных, железнодорожных магистралей, трубопроводов, линий электропередач с их полосами отчуждения; биотопы древесно-кустарниковых насаждений;
- » открытые биотопы с преобладанием травяной растительности.

Иногда в городской среде целесообразно выделять биотопы, совокупность которых специфична для каждого населенного пункта. Однако единой классификации урбанобиотопов пока не разработано. Предложено, в частности, выделять пять категорий таких биотопов:

- » с полным отсутствием на них антропогенных воздействий;
- » с ограниченным воздействием человека, где непригодных для роста растений мест, не более 5%;
- » измененные и деградированные биотопы с преобладанием полуестественной растительности;
- » с сильными антропогенными изменениями и преобладанием синантропной растительности;
- » биотопы, в пределах которых мест полностью непригодных для растений (асфальт, бетонные площадки и т.п.), более 30%.
- » Можно на урбанизированных территориях выделять биотопы по структурно-функциональным признакам. В этом случае основными категориями биотопов любых населенных пунктов будут:
 - » техногенные территории в зонах расположения промышленных предприятий;
 - » селитебные территории, занятые преимущественно многоэтажными жилыми домами;
 - » коммуникационные системы (улицы, дороги, проезды, проходы, тропы);
 - » газоны и клумбы;
 - » парки, леса и луга рекреационного пользования, находящиеся в границах города;
 - » районы личной застройки, дворы, дачи, огороды;
 - » кладбища и пустыри;
 - » зеленые защитные зоны вокруг городов, используемые городским населением для рекреационных целей.

Биогеоценозы испытывают различные формы антропогенного влияния и могут быть представлены как ряд местообитаний, от слабо нарушенных до преобразованных. **Гелмеробия**

рассматривается как результирующая всех видов антропогенного влияния на биогеоценоз. Все биогеоценозы, сложившиеся на урбанизированных территориях, отличаются той или иной **степенью гемеробности**, индикатором которой служит растительный покров. Критериями определения степени гемеробности являются: степень утраты видов естественной флоры, доля однолетников и доля неофитов в растительном покрове, степень нарушенности почвенного покрова, содержание ионов водорода (рН) и питательных веществ в почве в результате антропогенного воздействия. Выделяют несколько степеней гемеробности: от агемеробных сообществ с отсутствием антропогенного влияния (и не выдерживающих его) до — мегагемеробных (искусственные ценозы, заасфальтированные или бетонированные площади, очистные сооружения и т.д.).

Аналогичным показателю гемеробности для водных экосистем является показатель **сапробности**, связанный с содержанием органических загрязняющих веществ в воде. Как целые сообщества, так и отдельные виды растений и животных могут быть размещены по шкале в зависимости от их отношения к степени гемеробности или сапробности местообитаний.

К настоящему времени уже накоплены многочисленные данные об изменении ареалов видов растений и животных (Клауснитцер Б., 1990). В общих чертах можно сделать следующие выводы.

- » Наиболее подвержены негативному воздействию урбанизации ареалы эндемичных видов. Чем меньше площадь ареала вида-эндемика и чем более специфическими являются требования к местообитаниям, тем больше вероятность сокращения видового ареала под воздействием урбанизации, вплоть до исчезновения. Однако урбанизация в большинстве случаев является лишь завершающей в ряду причин сокращения ареалов. Как правило, ей предшествует интенсивное сельскохозяйственное освоение земель, сопровождающееся коренной перестройкой природных ландшафтов и уничтожением специфических местообитаний видов-эндемиков. Известны и обратные примеры сохранения популяций эндемичных и неэндемичных сокращающихся в численности видов растений, насекомых и птиц на урбанизированных территориях в тех случаях, когда земли с местообитаниями таких видов были выведены из-под интенсивного использования для застройки и сохранялись в малоизмененном виде.

- » Сокращение ареалов или, по крайней мере, снижение численности внутри ареала под действием комплекса связанных с урбанизацией факторов наблюдается и у широко распространенных видов «специалистов» в результате фрагментации, нарушения или уничтожения местообитаний самих видов или их пищевых жертв, а также прямого уничтожения, что в полной мере относится к большинству видов дневных хищных птиц и совообразных, крупным млекопитающим, рыбам. Например, создание водохранилищ, загрязнение водных объектов в урбанизированных регионах, приводящее к исчезновению нерестилищ или ухудшению кормовой базы отдельных видов. Подобные изменения касаются не только репродукционных, но и зимовочных и трофических ареалов.
- » Ареалы широко распространенных видов — «генералистов» и видов-космополитов являются менее подверженными изменениям и даже могут расширяться под воздействием урбанизации. Расширение охватывает как репродукционные, так и сезонные (трофические, зимовочные) части ареалов посредством освоения и «включения» урбанизированных местообитаний во вторичный ареал.
- » Рост городов, приводящий к формированию новых условий обитания (место жизни и пища) в конкретной области Земли, способствует проникновению в города из соседних областей видов со специализированными требованиями к местообитаниям. Например, скальные виды, виды-троглобионты (обитающие в пещерах), условия жизни которых в городах максимально приближены к условиям жизни в первичном ареале. В данном случае урбанизация является фактором формирования и расширения (как правило, в масштабах континента) вторичных ареалов. Большинство из этой группы видов становятся синантропами.
- » Наконец, города играют ведущую роль в интерконтинентальном и трансконтинентальном расширении и формировании пятнистых современных ареалов видов, которые осваивают новые области распространения только благодаря преднамеренной и непреднамеренной деятельности человека (интродуценты и адвентивные виды). Большинство видов данной группы также являются синантропными.



4.3. Специфика биоты урбанизированных территорий

Город служит местообитанием различных видов животных, растений, грибов, простейших, прокариот, являющихся неотъемлемыми элементами городской среды. Можно выделить несколько групп видов представителей городской биоты.

Первая группа видов существует только в одомашненном (животные) или окультуренном (растения) состоянии и используются человеком для удовлетворения его жизненных потребностей: в лекарственных препаратах, материалах для строительства и отделки жилищ, средствах передвижения, в общении.

Вторая группа — животные и растения, не одомашненные или окультуренные, а обитающие в не урбанизированной среде иных природно-климатических зон, отличных от данной. В городах могут жить только в жилищах человека или в специальных сооружениях (оранжереи, теплицы, террариумы, аквариумы, вольеры и т.п.), где искусственно создаются и поддерживаются условия существования и размножения организмов этих видов. К этой группе относятся экзотические растения и животные, составляющие основу научных (зоологические парки, ботанические сады, питомники) и частных коллекций — комнатные и оранжерейные растения, аквариумные рыбы, обитатели террариумов, инсектариумов, комнатные и декоративные птицы и млекопитающие.

Третья группа видов — это также не одомашненные животные и не окультуренные растения, которые человек сознательно (преднамеренно) расселяет или выращивает в городах, но уже не в жилищах, а в природно-антропогенных или антропогенных местообитаниях. В этой группе выделяют две подгруппы:

- » новые для региона виды (интродуценты);
- » аборигенные (автохтонные) виды, возникшие или с древних времен обитающие на данной территории.

Интродуцированные виды в новых условиях проходят процесс акклиматизации, после чего они либо натурализируются, т.е. могут существовать, сохраняя жизнеспособность без вмешательства человека, либо для их существования (размножения) необходима постоянная поддержка со стороны человека в виде системы агротехнических (для растений) или биотехнических (для животных) мероприятий.

Четвертая группа видов — это непреднамеренные интродуценты, «виды-пришельцы», появление которых в данном регионе или городе не предусматривалось человеком, но которые

распространились и натурализовались благодаря человеку как агенту переноса организмов или их покоящихся стадий и в результате антропогенных преобразований ландшафтов, сопутствующих урбанизации.

Пятая группа видов — синантропные, т.е. виды, живущие в сельтебном ландшафте, в непосредственном соседстве с человеком: в жилищах и других сооружениях, вблизи жилья и временных построек. Сюда входят:

- » виды, эволюция которых проходила в контакте с человеческими популяциями (например, полевые сорняки, некоторые тараканы, вши, мышь домовая);
- » виды, лишь в новое и новейшее время, освоившие экологические ниши, параметры которых определяются жизнедеятельностью человека, его домашних животных и окультуренных растений. Например, воробей домовый, голубь сизый, стриж черный, крыса серая. Тем не менее, более молодые синантропные виды не «порывают» полностью связь со своими исходными природными местообитаниями и используют их в зависимости от конкретных ситуаций наряду с антропогенными.

Шестая группа видов — это дикорастущие растения и дикие животные, живущие в городах в различных местообитаниях — от слабонарушенных и трансформированных природных до антропогенных. Здесь мы находим большое разнообразие видов: от сохранившихся в виде малых остатков некогда существовавших жизнеспособных популяций, а ныне обреченных на вымирание, до активно или пассивно проникающих в города и процветающих в них. То есть все те виды растений, животных, грибов — «союзники», «нежелательные соседи» или «вредители», которые, наряду с видами из пятой, четвертой и отчасти третьей групп формируют флору и фауну городов, развивающуюся рядом с человеком, помимо его воли и даже вопреки его желанию.

Специфика городской флоры формируется на основе:

- » природных фитоценозов, которые трансформируются в полунатуральные;
- » рудеральных сообществ, которые возникают в нарушенных местообитаниях;
- » искусственно создаваемых древесно-кустарниковых сообществ, газонов, клумб и т.п.

Изменение природной среды урбанизированных территорий приводит к заметной трансформации флористического состава:

- » происходит вытеснение растений природных сообществ;
- » селективное подавление отдельных видов;
- » интродукция новых видов растений.

Доля адвентивных (пришлых) видов в городских местообитаниях может достигать 40% (свалки, обочины железных дорог), что связано с весьма интенсивным вытеснением аборигенных видов. Большинство из них исчезает из городской флоры уже при закладке городов.

Отмечается сокращение числа лесных видов при явном преобладании доли луговых и степных видов. Из-за повышения температуры и формирования хорошо прогреваемых местообитаний в урбанофлоре создаются благоприятные условия для более южных видов по отношению к географическому положению города. Появляются виды, приспособленные к недостатку влаги (ксерофиты) и повышенному содержанию солей в почве (галофиты). Для урбанизированной флоры ведущей экологической группой по отношению к условиям увлажнения выступают мезофиты.

Условия обитания растений в городах различных регионов очень схожи, что сближает их по флористическому составу и позволяет оценивать городскую флору как азональную. Более 15% видов растений являются общими для всех городов Европы (для центров — до 50%).

Увеличение количества видов в городской флоре происходит и за счет одичания некоторых декоративных видов.

В городах увеличивается число рудеральных видов. Рудеральные растения (рудералы) (от лат. *rudus* — щепень, строительный мусор) — сорные растения, растущие на мусорных свалках, вдоль дорог (рис. 4.3.1, 4.3.2). Часто это стихийно возникшие местообитания городских растений — участки урботерритории, где человек косвенно повлиял на их появление. Это участки с уплотненным или нарушенным почвенным слоем, перевернутым и смешанным со строительными отходами или полностью искусственным твердым грунтом. Данная территория обладает самыми экстремальными условиями для произрастания аборигенных растений и благоприятными для урбанофильных растений. Рудеральные растения способны быстро занимать освобождающиеся территории, обладают высоким потенциалом к семенному и вегетативному размножению. Нередко имеют различные приспособления для защиты от уничтожения человеком и животными (ядовитые вещества, шипы, жгучие волоски и др.).



Рисунок 4.3.1. Лопух большой (*Arctium lappa*)

Рисунок 4.3.2. Сурепка обыкновенная (*Barbarea vulgaris*)

Характерной чертой городской флоры является непостоянство и динамичность видового состава.

Продуктом взаимодействия между человеческой популяцией и ее сознательной или несознательной деятельностью и популяциями животных в пространстве и времени является синантропная фауна. Она складывается из автохтонных и аллохтонных видов, претерпевающих процесс синурбизации.

Синурбизация — процесс адаптации вида к условиям жизни в городе. Процесс этот происходит путем преобразований, являющихся по своей природе этологическими, экологическими и эволюционными (Гливич, 1980). Для животной компоненты антропоценозов принято выделять следующие основные категории:

- » человек в качестве образователя антропоценоза;
- » domestцированные животные (доместикация может рассматриваться как вид мутуализма);
- » синантропные животные (эвсинантропы — истинные или облигатные синантропы и гемисинантропы — не постоянные);
- » интродуцированные или завлеченные;
- » ферализованные животные — особи и популяции, освободившиеся от процесса доместикации на ранних стадиях;
- » несинантропные животные города.

Противоположной группой являются экзоантропы — животные, чуждые человеческим поселениям, которые не могут жить и размножаться здесь. Биологические особенности видов во многом определяют возможность их существования в новых условиях

среды. Ряд видов стенотопен и обладает сравнительно низкими адаптивными возможностями, другие — эвритопны и имеют высокий адаптивный потенциал. Чтобы иметь возможность успешно проникнуть в новую нишу или адаптивную зону, вид должен быть преадаптирован к ней; организм называют преадаптированным, если он способен переходить в новый биотоп; структуру называют преадаптированной, если она может взять на себя новую функцию без ущерба для первоначальной (Майр, 1974).

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое биота?
2. Как урбанизация влияет на динамику ареалов видов растений и животных?
3. Какие изменения биота претерпевает на урбанизированных территориях?
4. В чем различие между синантропизацией и синурбизацией?
5. Основные черты изменения растительного покрова в процессе урбанизации.
6. Основные черты урбанизированной фауны.
7. Основные черты урбанизированной флоры
8. Что такое адвентивные виды?
9. Что такое инвазивная флора и фауна?
10. Почему в городах увеличивается число рудеральных видов растений

5. Оценка воздействия на биоту

5.1. Оценка воздействия градостроительства и объектов городской инфраструктуры на окружающую среду

Градостроительная деятельность и объекты городской инфраструктуры воздействуют на окружающую среду, изменяя ее состояние. Оценка этого воздействия проводится при разработке градостроительной документации и проектной документации строительного объекта. По результатам оценки воздействия на окружающую среду выбираются приоритетные направления использования, развития и реконструкции территории; определяются условия и ограничения реализации проектных решений и хозяйственной деятельности на территории.

Каждая стадия градостроительного проектирования и каждая стадия разработки проекта строительства сопровождается разделом, имеющим характер оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Так, в градостроительной документации (генеральный план города, проект планировки, проект застройки) это — раздел «Охрана окружающей среды». Проектная документация на новое строительство (расширение, реконструкция, техническое перевооружение) предприятий, зданий, сооружений обоснование инвестиций включает раздел «Оценка воздействия на окружающую среду», а проект содержит раздел «Охрана окружающей среды».

В основе разработки указанных разделов лежит процедура ОВОС, представляющая собой вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых и косвенных последствий воздействия на окружающую природную среду планируемой деятельности. Для проведения ОВОС используются материалы инженерно-экологических и других видов инженерных изысканий для строительства; учитываются законодательство Российской Федерации и ее субъектов, строительные нормы и правила, государственные стандарты, санитарные правила, экологические требования и нормативы качества окружающей среды. Исследование состояния окружающей среды, проведение расчетов и моделирование экологических процессов осуществляются на основе сертифицированных методов и методик.

При разработке градостроительной документации исследуется воздействие объекта градостроительства (города, района, микрорайона, квартала), городской инфраструктуры на окружающую среду; при разработке проектной документации — воздействие, отдельного здания, сооружения или предприятия. Оценивается изменение состояния атмосферного воздуха, почв, грунтов, грунтовых вод, водных объектов, лесов, городских зеленых насаждений и т.п. Косвенное воздействие градостроительного объекта на окружающую среду оценивается по показателям здоровья населения, растений, животных и по другим показателям. Выявляются все виды воздействия на окружающую среду: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросы загрязняющих веществ и микроорганизмов в поверхностные и подземные воды, загрязнение почв и грунтов, размещение отходов, воздействие физических факторов и воздействия, обусловленные спецификой строительной деятельности. Кроме того, оценивается воздействие объектов градостроительства на протекание природных и техногенных процессов и явлений.

Состав работ ОВОС зависит от климатических и природно-техногенных условий территории, экологической ситуации. На каждой стадии градостроительного проектирования оценки воздействия на окружающую среду отличаются друг от друга по объему информации, степени ее проработки и характеру выводов.

Последовательность проведения ОВОС приведена в документе муниципального уровня — Инструкция о порядке и составе разработки раздела «Охрана окружающей среды» градостроительной документации г. Москвы, утвержденная распоряжением мэра Москвы от 2 августа 1995 г. № 376-РМ.

На уровне генерального плана города сначала характеризуются климатические и природно-техногенные условия территории. Оценивается современное состояние окружающей среды. Проводится ее покомпонентная и комплексная оценка. Разрабатывается программа природоохранных мероприятий. Затем оценивается ожидаемое состояние окружающей среды в результате реализации предложений генерального плана и выполнения природоохранных мероприятий. Определяется природоохранная стратегия города.

На уровне проекта планировки жилого района современная экологическая ситуация определяется по данным раздела «Охрана окружающей среды» генерального плана города. Анализируется воздействие на состояние окружающей среды только тех объектов, которые расположены и функционируют в пределах территории района. Затем оценивается степень влияния на окружающую среду проектируемых объектов. Проводится комплексная оценка ожидаемого изменения состояния окружающей среды в результате строительства. Определяются градостроительные мероприятия по снижению негативного воздействия на окружающую среду выявленных факторов.

На уровне застройки микрорайона оценка современной экологической ситуации и оценка современного состояния окружающей среды проектируемой территории проводится по данным генерального плана города и проекта планировки района. Анализируется изменение состояния окружающей среды (по отдельным выбранным факторам и по их совокупности) в результате воздействия проектируемой застройки. При этом оцениваются различные варианты проектных решений. Уточняются природоохранные мероприятия и конкретизируются предложения по архитектурно-планировочной организации территории, предусмотренные проектом планировки.

При разработке проектной документации строительства, реконструкции или технического перевооружения объекта на первых этапах требуется только обосновать намечаемую хозяйственную или иную деятельность будущего объекта строительства. Поэтому на этапе обоснования инвестиций цель ОВОС — показать возможность ее осуществления с учетом тех или иных экологических проблем, связанных как с региональными особенностями территории, так и с отраслевой спецификой.

На этапе проектирования ОВОС выражается уже в конкретных количественных (или качественных экспертных) показателях возможных последствий от планируемой деятельности. Целью ОВОС

на данном этапе является выбор технических и технологических решений, которые позволили бы избежать или свести к минимуму негативное влияние на окружающую среду.

На основе выводов ОВОС дается экологическое обоснование на проведение градостроительной, строительной, хозяйственной и иной деятельности.

Экологическое обоснование — это совокупность доводов (доказательств) и научных прогнозов, позволяющих оценить экологическую опасность намечаемой градостроительной, строительной, хозяйственной и иной деятельности. При этом под **экологической опасностью** понимается ухудшение показателей качества окружающей среды (состояний, процессов) под влиянием природных и техногенных факторов, представляющих собой угрозу экосистемам и человеку.

В предпроектной и проектной документации должны быть обоснованы:

- » размещение объекта (выбор площадки);
- » изъятие природных ресурсов (земельных, водных, недр, лесных);
- » уровень экологической опасности технологических процессов, продукции, отходов;
- » экологическая безопасность объекта, ОВОС;
- » природоохранные мероприятия.

Предлагаемая оценка фактического состояния окружающей среды может быть проведена при наличии большого количества картографического и статистического материала. Однако в большинстве случаев при проведении ОВОС не требуется таких детальных исследований. Необходимая программа таких исследований составляется после выявления зон особой чувствительности и экологически значимых воздействий будущего объекта на окружающую среду. При этом возможно применение различных методов исследований.

Источниками информации для получения исходных материалов по состоянию анализируемых сред служат данные наблюдений местных метеостанций и санэпидемстанций, бассейновых управлений водного хозяйства, управления охотничьего хозяйства, комитетов по рыболовству, комитетов местной администрации по земельным ресурсам и землеустройству, климатические справочники, фондовые материалы Росгидромета, отчеты и публикации научных организаций и высших учебных заведений, данные территориальных органов по охране окружающей среды и результаты экологического мониторинга.

По результатам оценки воздействия также разрабатывается система экологического мониторинга проектируемого объекта для последующей реализации в составе раздела проектной документации «Охрана окружающей природной среды».

Материалы раздела «Охрана окружающей среды» используются при проведении государственной экологической экспертизы. Она контролирует результаты исследований и прогнозов ОВОС, опираясь на экологическое обоснование. Государственная экологическая экспертиза проводится соответствующим отделом территориального органа Федеральной службы по надзору в сфере природопользования Главного управления природных ресурсов и охраны окружающей среды Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Она завершает стадию проектирования, приняв решение о реализации (или запрете реализации) проекта.

Таким образом, климатические, природно-техногенные условия и экологическое состояние территории застройки определяют градостроительные решения по созданию искусственной среды жизнедеятельности человека. В этом случае окружающая среда воздействует на человека через градостроительный объект:

окружающая среда → градостроительный объект → человек.

В свою очередь, градостроительный объект воздействует на существующую, сложившуюся среду жизнедеятельности человека:

градостроительный объект → окружающая среда → человек.

Для решения вопросов по снижению негативного воздействия градостроительных объектов и их функционирования (хозяйственной и иной деятельности) на окружающую среду необходимо использовать целый комплекс природоохранных методов и мероприятий. Они осуществляются как градостроительными, так и техническими средствами.

5.2. Оценка воздействия на биоту

Воздействие городской инфраструктуры и строительства на животный мир и растительный мир проявляется в:

- » изменение видового разнообразия флоры и фауны;
- » изменение структуры сообществ (снижение численности доминирующих и фоновых видов, увеличение численности редких видов и т. д.);

- » изменение численности, возрастной и половой структуры популяций;
- » изменение направлений миграций;
- » замена одних сообществ другими сообществами;
- » изменение трофической структуры биоценозов.

Состояние экосистемы определяется через оценку состояний формирующих ее биотических (биома) и абиотических (геома) компонентов (сфер, сред). Такая оценка состояния экосистемы проводится на основе ограниченного числа критериев, обеспечивающих при совместном рассмотрении уверенную квалификацию ее состояния. При этом нужен единый подход к оценке состояния как экосистемы, так и слагающих ее компонентов.

Уровни экологических нарушений экосистем

В настоящее время большинство исследователей предлагают выделять 4 уровня природно-антропогенных экологических нарушений: нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б). В основу выделения этих уровней положено ранжирование нарушений экосистем по глубине и необратимости (Виноградов и др., 1993).

Характеристика состояний и нарушений экосистем

1. Уровень нормы (Н), иначе — зона экологической нормы или класс удовлетворительного (благоприятного) состояния среды. Это территории без заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистем, их относительной стабильности. Значение прямых критериев оценки ниже ПДК или фоновых. Деградация земель менее 5% площади.

2. Уровень риска (Р), иначе — зона экологического риска или класс условно удовлетворительного (неблагоприятного) состояния среды. Это территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, их нестабильным состоянием, ведущим к спонтанной деградации экосистем, но еще с обратимыми нарушениями. Эти территории требуют разумного хозяйственного использования и планирования мероприятий по их улучшению. Значения прямых критериев оценки незначительно превышают ПДК или фон. Деградация земель от 5 до 20% площади.

3. Уровень кризиса (К), иначе — зона экологического кризиса или класса неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния среды. Это территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости экосистем и трудно обратимыми нарушениями. Здесь необходимо выборочное хозяйственное использование территорий и планирование их глубокого улучшения. Значения прямых критериев оценки значительно превышают ПДК или фон. Деградация земель от 20 до 50% площади.

4. Уровень бедствия (Б), иначе — зона экологического бедствия (катастрофы) или класса катастрофического состояния сред. Это территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем, исключаящими данную территорию из хозяйственного использования. Значения прямых критериев оценки в десятки раз превышают ПДК или фон. Деградация земель более 50% площади.

Оценка состояния экосистем осуществляется на основе ограниченного (небольшого) числа наиболее представительных показателей, т.к. единого показателя состояния экосистем не существует. Поэтому оценка экологического состояния территории состоит из интегральной морфологической оценки состояния экосистемы с расшифровкой ее через характеристику состояния геосфер (среды обитания).

В настоящее время существует несколько подходов к классификации и иерархии показателей оценки состояния экосистем и геосферных оболочек Земли. Б.В. Виноградовым с соавторами (1993) предлагается выделять биотические показатели, которые включают в себя несколько классов показателей:

- » тематические;
- » пространственные;
- » динамические;
- » интегральные.

В целях оценки общей устойчивости экосистем к антропогенным воздействиям используют следующие показатели:

- » запасы живого и мертвого органического вещества;
- » эффективность образования органического вещества или продукции растительного покрова;
- » видовое и структурное разнообразие.

Тематические критерии включают специфические индикаторы, характеризующие свойства экосистем (ботанические, зоологические, почвенные, микробиологические, гидрохимические, гидрологические, геофизические и др.).

Ботанические критерии характеризуют ухудшение видового состава и ассоциированности естественной растительности; уменьшение видового разнообразия, лесистости, площади коренных ассоциаций; слабое возобновление, повреждение растительности газообразными соединениями, болезнями, вредителями и др.

Зоологические критерии включают показатели нарушения животного мира. Они могут рассматриваться как на ценологических (видовое разнообразие, пространственная структура, трофическая структура, биомасса, продуктивность, энергетика), так и на популяционных

(пространственная структура, численность, возрастной состав, поведение) уровнях. Зона риска, главным образом, по этологическим критериям начальной стадии нарушения (синантропизация, потеря стадного поведения, изменение путей миграции). Зона кризиса характеризуется нарушением структуры популяций, групп и стай, сужением области распространения и обитания, нарушением размножения. Зона бедствия отличается исчезновением мест местообитания, отдельных стадий, массовой гибелью возрастных групп, резким ростом численности синантропных и нехарактерных видов, интенсивным увеличением антропозоонозных и зоонозных заболеваний.

Динамические критерии

Рассмотренные выше статические (статистические) критерии выявления зон экологических нарушений недостаточны для объективной оценки, поскольку не отражают истинной картины бедствия. Более достоверны динамические критерии по скорости нарастания неблагоприятных изменений природной среды, например, по скорости накопления тяжелых металлов. По скорости нарастания неблагоприятных изменений выделяется 4 класса динамизма растительного покрова.

Первый класс: стабильные территории. Скорость изменений растительного покрова менее 0,5% площади в год. Растительный покров подвержен лишь разногодичной и циклической флуктуации.

Второй класс: умеренно динамичные территории.

Скорость изменений растительного покрова до 1–2% площади в год. Полная смена растительного покрова происходит здесь за 50–100 лет. Эти территории относятся к зонам экологического риска.

Третий класс: средне динамичные территории. Скорость изменений растительного покрова до 2–3% площади в год. Полная смена растительного покрова происходит за 30–50 лет. Эти территории относятся к зонам экологического кризиса.

Четвертый класс: сильно динамичные территории.

Скорость изменения растительного покрова больше 4% в год. Полная смена растительного покрова происходит менее чем за 25 лет. Эти территории относятся к зонам экологического бедствия (таблица 5.2.1).

Таблица 5.2.1.
Динамические критерии нарушения экосистем

Показатель	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
1. Увеличение площади нарушенных экосистем, %*	менее 1,0	1,0–2,0	2,0–4,0	>4,0
2. Уменьшение годичной растительной продукции, %	<1,0	1,5–3,5	3,5–7,5	>7,5
3. Увеличение площади эродированных земель, %*	<0,5	1,0–2,0	2,0–5,0	>5,0

*Скорость изменения показателя в год.

Состояние растительного и животного мира определяется на основании данных лесоустроительных организаций, ветеринарных служб, биологических станций и т.д. Информация должна быть максимально полной и достоверной. Особое внимание следует уделить наличию краснокнижных видов. Описание растительного и животного мира должно включать:

- » общую региональную характеристику растительного мира, включающую сельскохозяйственные системы, парки, сады, и др. лесонасаждения;
- » растительные сообщества, видовое разнообразие: доминирующие, эндемичные, редкие, исчезающие виды;
- » структура площадей лесного фонда, территориальное размещение лесов;
- » видовой и возрастной состав лесного фонда, распределение по породам и группам возраста, общая биомасса лесного фонда, состояние лесов: санитарное состояние, завалы, залежи, болезни;
- » площади посевных площадей, естественных лугов и пастбищ, продуктивность, их состояние, связанное с хозяйственной деятельностью;
- » видовой состав и численность популяций животного мира;
- » миграционные процессы, пути и сроки миграции, исчезающие виды;
- » перелетные виды птиц, степень обеспечения гнездования, зимующие и водоплавающие виды птиц;

- » бактериологическая характеристика района, патогенные и другие виды;
- » почвенная фауна, гельминты;
- » гидробиологическое описание водных объектов (фитопланктон, зоопланктон, бентос, бактериальная флора, ориентировочная численность популяций);
- » ихтиологическая характеристика основных водных объектов: виды рыб, миграция, проходные виды рыб, нерестилища).

Данные для оценки состояния и предполагаемого воздействия на растительный и животный мир могут быть получены в специализированных институтах Российской академии наук, на биологических факультетах университетов, а также в территориальных организациях, занимающихся вопросами изучения растительного и животного мира.

Оценки воздействия любого вида антропогенной деятельности на растительный покров зачастую затруднены тем, что отсутствуют какие-либо определенные количественные нормативы состояния растительности. Здесь возможны экспертные оценки, позволяющие получить комплексную оценку состояния и устойчивости растительности.

Вместе с тем для оценки качества состояния растительности используют многочисленные параметры. Среди них:

- » уменьшение биоразнообразия (индекс разнообразия Симпсона, % от нормы);
- » плотность популяции вида-индикатора антропогенной нагрузки, % от площади коренных (или квазикоренных) ассоциаций, % от общей площади;
- » видовой состав естественной травянистой растительности;
- » возрастной спектр ценопопуляций доминантов, возобновление в отн. единицах;
- » лесистость, % от оптимальной (зональной);
- » запас древесины основных лесообразующих пород, % от нормального;
- » повреждение древостоев техногенными выбросами, % от общей площади;
- » повреждение хвойных пород техногенными выбросами (повреждение хвои) %;
- » заболевание древостоев, %;
- » гибель лесных культур, % от площади лесокультурных работ;
- » площадь гари, не облесившейся в течение не менее 10 лет;

- » площадь посевов, поврежденных вредителями, % от общей площади;
- » изменение ареалов редких видов;
- » повреждение растительности заповедников.

Критерии оценки состояния растительности различаются в зависимости от географических условий и типов экосистем. При этом учитываются негативные изменения как в структуре растительного покрова (уменьшение площади коренных ассоциаций, изменение лесистости), так и на уровне растительных сообществ и отдельных видов (популяций): изменение видового состава, ухудшение ассоциированности и возрастного спектра ценопопуляций доминантов.

Ботанические показатели весьма специфичны, так как разные виды растений и разные растительные сообщества в разных географических условиях имеют неодинаковую чувствительность и устойчивость к нарушающим воздействиям и, следовательно, одни и те же показатели для квалификации зон экологического состояния могут существенно варьировать для разных ландшафтов. При этом учитываются признаки негативных изменений на разных уровнях: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (соотношение площадей в ландшафте). Ранжирование состояния экосистем по ботаническим критериям представлено в таблице 5.2.2.

Таблица 5.2.2.
Ботанические критерии нарушенности территории

Показатель	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
1. Ухудшение видового состава естественной растительности и характерных видов	естественная смена доминантов, субдоминантов в особенности полезных видов	уменьшение обилия господствующих, в особенности полезных, видов	смена господствующих видов на вторичные, в основном сорные и ядовитые	уменьшение обилия вторичных видов, полезных растений практически нет
2. Повреждение растительности (дымом заводов)	отсутствие	повреждение наиболее чувствительных видов (хвойных деревьев – елей, лишайников)	повреждение среднечувствительных видов	повреждение слабочувствительных видов (травы, кустарники)

продолжение таблицы 5.2.2.

Показатель	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
3. Относительная площадь коренных ассоциаций, %	>60	40-60	20-30	<10
4. Биоразнообразие (уменьшение индекса Симпсона), %	<10	10-20	25-50	>50
5. Лесистость, % от зональной	>80	60-70	10-20	<5
6. Продуктивность пастбищной растительности, % от потенциального уровня	>80			
* Скорость изменения показателя в год.				

Функционирование инфраструктуры и строительство приводят к возникновению на городской территории местообитаний растений в виде участков с уплотненным или нарушенным почвенным профилем, перевернутым и смешанным со строительно-бытовыми отходами или полностью искусственным твердым грунтом. Такие местообитания обладают самыми экстремальными условиями для произрастания аборигенных растений и благоприятными для урбанотрофных растений (характер таких преобразований определяется понятием «синантропизация растительного покрова»).

Для более точной оценки степени антропогенной деградации растительных сообществ целесообразно использовать показатель доли участия синантропных видов в сложении надземной фитомассы, под которой понимается процент фитомассы, образованной синантропными видами.

На первой стадии деградации синантропные виды составляют незначительную примесь, встречаются единично и рассеянно и образуют не более 10–15% надземной фитомассы.

На второй стадии такие виды приобретают господствующее положение в травостое, составляя 50% надземной фитомассы.

На третьей стадии переходят к абсолютному доминированию и образуют 80–90% надземной фитомассы.

По мере деградации обедняется видовой состав травянистых сообществ (лугов, степей), а количество синантропных видов возрастает до тех пор, пока они не станут составлять 13–78% от общего количества видов в сообществе.

В качестве показателя антропогенной трансформации растительности можно использовать степень синантропизации фитоценозов. Степень синантропизации фитоценозов рассчитывается по формуле:

$$K_s = \frac{N_a \sum_{i=1}^{N_a} a_i}{\sum_{i=1}^{N_a} a_i + \sum_{i=1}^{N_b} b_i} \times 100$$

где K_s — коэффициент синантропизации; a_i — проективное покрытие ценопопуляций синантропных видов, %; N_a — число синантропных видов; b_i — проективное покрытие ценопопуляций видов гемерофобов, %; N_b — число видов гемерофобов.

Для определения уровня антропогенной трансформации фитоценозов можно использовать равномерную 10-балльную шкалу, которая включает 5 стадий, каждая из которых делится на 2 фазы (табл. 5.2.3).

При изучении динамики растительности комплексных контуров мониторинг ведется по каждому фитоценозу. На основе полученных результатов вычисляются средние показатели синантропизации и трансформации растительности всего контура с учетом соотношения в нем площадей, занимаемых фитоценозами по следующей формуле:

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^N a_i b_i}{100}$$

где K_s — средний уровень синантропизации комплексного контура; a_i — уровень синантропизации фитоценозов комплексного контура; b_i — процент площади, занимаемой фитоценозами в комплексном контуре.

Таблица 5.2.3.

Шкала антропогенной трансформации растительных сообществ
(Прокопьев Е.П., Рыбина Т.А., 2010)

Стадии антропогенной трансформации	Фазы стадий
I – стадия слабой трансформации ($K_s = 1-20\%$)	a – первая (начальная) фаза ($K_s = 1-10\%$)
	b – вторая (заключительная) фаза ($K_s = 11-20\%$)
II – стадия умеренной трансформации ($K_s = 21-40\%$)	a – первая фаза ($K_s = 21-30\%$)
	b – вторая фаза ($K_s = 31-40\%$)
III – стадия средней трансформации ($K_s = 41-60\%$)	a – первая фаза ($K_s = 41-50\%$)
	b – вторая фаза ($K_s = 51-60\%$)
IV – стадия сильной трансформации ($K_s = 61-80\%$)	a – первая фаза ($K_s = 61-70\%$)
	b – вторая фаза ($K_s = 71-80\%$)
V – стадия очень сильной трансформации ($K_s = 81-100\%$)	a – первая фаза ($K_s = 81-90\%$)
	b – вторая фаза ($K_s = 91-100\%$)

На основании результатов мониторинга по каждому фитоценозу и по комплексному контуру в целом можно разработать режим воздействия человека на деградирующую растительность модельных биогеоценозов в виде снижения антропогенной нагрузки. Корректировку антропогенной нагрузки целесообразно проводить при уровне синантропизации $K_s = 51-60\%$, что соответствует второй фазе (b) III – средней стадии антропогенной трансформации. Эти показатели следует считать критическими, т.к. при переходе трансформации на следующую IV стадию заметно ускоряется процесс деградации растительности, что ведет к замедлению обратного процесса демуляции ее исходного состояния после ослабления или снятия антропогенной нагрузки.

Поступление загрязнителей в растения из атмосферы через их ассимиляционные органы определяет деградацию биоценозов, в особенности лесных, в условиях воздействия выбросов различных промышленных предприятий на урбанизированной территории.

Состояние лесной растительности можно рассматривать как индикатор уровня антропогенной нагрузки на природную среду обитания (повреждение древостоев или хвои техногенными выбросами). Уменьшение запаса древесных ценных пород свидетельствует о процессе деградации лесных экосистем в результате неудовлетворительной лесохозяйственной деятельности.

Наиболее информативные биохимические показатели поражения растительности приведены в таблице 5.2.4.

При химическом загрязнении территории дополнительно оцениваются следующие нарушения растений:

- » нормального соотношения массы наземных и подземных органов растений;
- » процесса преобразования растений от начала развития до его завершения: задержка бутонизации и торможение цветения, предотвращение образования плодов.

Обследование растительности проводится в комплексе с другими инженерно-экологическими изысканиями (обследование почв и грунтов, гидрогеологические исследования и др.) для определения причин развития процессов, негативно влияющих на состояние растительного покрова, и максимально объективного обоснования мероприятий по созданию оптимальной структуры последующего озеленения. В состав обследования растительности входят геоботаническое и дендрологическое.

Таблица 5.2.4.

Биохимические критерии оценки нарушения растительности

Основные показатели	I – Норма (Н)	II – Риск (Р)	III – Кризис (К)	IV – Бедствие (Б)
По содержанию химических веществ в сухой массе травянистых растений в мг/кг:				
Максимально допустимое соотношение C:N в растениях*	12–8	8–6	6–4	<4
Максимально допустимое содержание свинца, ртути, кадмия, мышьяка, сурьмы по превышению МДУ*	1,1–1,5	2–4	5–10	>10
Содержание талия, селена (по превышению фона)	<1,5	2–4	5–10	>10

продолжение таблицы 5.2.4.

Основные показатели	I – Норма (Н)	II – Риск (Р)	III – Кризис (К)	IV – Бедствие (Б)
Содержание алюминия, олова, висмута, теллура, вольфрама, марганца, галлия, германия, индия, иттрия (по превышению фона)		1,5–2,0	2–10	10–50
Содержание меди в растениях	10–20	30–70	80–100	более 100
Содержание цинка в растениях		30–60	60–100	100–500
Содержание железа в растениях		50–100	100–200	200–500
Содержание молибдена в растениях	2–3	3–10	10–50	>50
Содержание кобальта в растениях		0,3–1,0	1–5	5–50

*МДУ – Максимально допустимый уровень.

Геоботаническое обследование предваряет другие виды обследования растительности на территории, предназначенной под строительство либо благоустройство. Отличительной чертой геоботанического обследования является то, что только в его процессе рассматриваются сформировавшиеся растительные сообщества (фитоценозы), их структура, связи, сложившиеся внутри сообществ. Важность геоботанического обследования для естественных растительных сообществ состоит в том, что оно определяет степень нарушенности сообщества и тенденции его дальнейшего развития (демутация или деградация). На этой базе можно прогнозировать развитие растительного сообщества при различных ситуациях и смоделировать оптимальные условия для положительной динамики его развития.

Сведения о состоянии растительности на определенной территории следует увязывать с параметрами рельефа и почвенными характеристиками. При этом необходимо осуществить группировку лесных, луговых и других участков территории по основным таксономическим признакам с выделением общих растительных ассоциаций и указанием степени их нарушения (деградации).

При анализе растительности района намечаемой деятельности необходимо отражать:

- » площади, занимаемые лесами, кустарниками, лугами, болотами, неудобьями;
- » зональные особенности растительности на рассматриваемой территории, типы лесов, кустарников, луговой и травянистой растительности; промышленную ценность леса, его санитарное состояние; наличие редких и реликтовых видов растительности, деревьев, занесенных в Красную книгу; наличие и площади лесонасаждений, садов, парков, заказников, растительных памятников природы;
- » структуру площадей лесного фонда, территориальное размещение лесов;
- » видовой и возрастной состав лесного фонда, распределение по породам и группам возраста, общую биомассу лесного фонда, состояние лесов: санитарное состояние, завалы, залежи, болезни;
- » площади посевных площадей, естественных лугов и пастбищ, продуктивность, их состояние, связанное с хозяйственной деятельностью (перевыпас, подтопление);
- » существующее техногенное поражение лесов, кустарников, лугов кислотными дождями, загрязнением атмосферы и поверхностных вод, подтоплением или иссушением территории.

В тех случаях, когда в районе предполагаемого размещения объекта имеются редкие и исчезающие виды растений, уникальные деревья и растительные сообщества, для них должны быть определены ареалы распространения (местоположение), статус вида, характер произрастания, необходимые меры охраны.

Показатели, которые могут быть использованы при оценке воздействия объекта на состояние животного мира

Животный мир мало совместим с антропогенной деятельностью, что создает большие трудности в предотвращении негативных последствий воздействия.

Ареал воздействия на животный мир всегда шире, чем площадь, непосредственно занимаемая объектом, поскольку жизнедеятельность животных нарушается, помимо всего прочего, так называемым «фактором беспокойства», включающим шум строительства и транспорта, появление незнакомых и необычных предметов, ночное освещение и т.д.

При оценке последствий воздействия на животный мир гораздо более значимы косвенные причины негативных последствий: сокращение экологических ниш, запасов кормов, нарушение трофических цепей, загрязнение водоемов и многое другое. При оценке воздействий необходимо опираться на систематическую, пространственную и экологическую структуру животного мира, устанавливая взаимозависимости между этими тремя аспектами анализа и выявляя возможные негативные последствия их нарушения.

Для установления исходных пространственных экологических закономерностей следует пользоваться материалами по типичным для данных зонально-региональных условий резерватам (заповедникам, заказникам и др.), поскольку на территориях вне особых охраняемых природных объектов первоначальные закономерности сильно нарушены и могут быть установлены только современные, как правило, очень обедненные их модификации. Сравнение тех и других может дать представление о типе динамики экосистем региона и адаптации животных к изменяющейся среде, на основании чего гораздо проще прогнозировать последствия планируемых нагрузок.

Характеристика животного мира района предполагаемого размещения проектируемого объекта должна отражать:

- » видовой состав диких млекопитающих, птиц, герпетофауны и ихтиофауны;
- » основные пути, направление и сроки миграции диких животных и птиц; наличие редких и исчезающих видов млекопитающих, птиц, рыб, занесенных в Красную книгу;
- » численность и ареалы обитания по видам животного мира;
- » указание перелетных видов птиц и мигрирующих видов животных;
- » гидробиологическое описание водных объектов (фитопланктон, зоопланктон, бентос, бактериальная флора, ориентировочная численность популяций);
- » наличие и расположение звероферм и хозяйств по разведению диких животных.

Для оценки состояния животного мира отсутствуют четкие и определенные, в том числе количественные, критерии и нормы, поэтому наиболее часто используется метод экспертных оценок, требующий определения соответствующих показателей.

Для оценки воздействия на животных можно использовать зоологические критерии, которые входят в состав тематических биотических критериев нарушения экосистем.

Зоологические критерии. Показатели нарушения животного мира могут рассматриваться как на ценотическом, так и на популяционном уровне.

Ценотический уровень — это биогеоценоз или экосистема.

Показатели нарушения животного мира на ценотическом уровне изменения:

- » видовой разнообразия;
- » пространственной и трофической структуры;
- » биомассы и продуктивности;
- » энергетики.

Показатели нарушения животного мира на популяционном уровне изменения:

- » пространственной структуры;
- » численности и плотности;
- » поведения;
- » демографической и генетической структуры.

По зоологическим критериям может быть выделен ряд стадий процесса экологических нарушений территории:

- » **зона риска** выделяется по критериям начальной стадии нарушения — синантропизация, потеря стадного поведения, изменение путей миграции, реакция толерантности;
- » **зона кризиса** характеризуется нарушением структуры популяций, сужением ареала, нарушением продуктивного цикла;
- » **зона бедствия** характеризуется исчезновением части ареала или местообитания, массовой гибелью животных, резким ростом численности синантропных и нехарактерных видов, интенсивным ростом антропозоонозных и зоонозных заболеваний.

Ранжирование состояния экосистемы по этим критериям приведено в таблице 5.2.5.

Таблица 5.2.5.

Зоологические критерии оценки нарушения экосистем

Показатель	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
1. Частота антропозоонозных заболеваний	случайная	спорадическая	регулярная	массовая
2. Падеж домашних животных, %	случайно <10	спорадически 10–20	регулярно 20–50	массово >50

продолжение таблицы 5.2.5.

Показатель	Норма (Н)	Риск (Р)	Кризис (К)	Бедствие (Б)
3. Уменьшение биоразнообразия, % от исходного	<5	10–20	25–50	>50
4. Плотность популяции вида индикатора антропогенной нагрузки, % от исходной	<10	10–20	20–50	>50

Любая деятельность, влекущая за собой изменение среды обитания объектов животного мира и ухудшение условий их размножения, нагула, отдыха и путей миграции, должна осуществляться с соблюдением требований, обеспечивающих охрану животного мира. Также предусматривается выделение защитных участков территорий и акваторий, на которых запрещаются отдельные виды хозяйственной деятельности или регламентируются сроки и технологии их проведения, если они нарушают жизненные циклы объектов животного мира (ст. 22 Федерального закона от 24 апреля 1995 г. № 52 «О животном мире»). Таким образом, при обосновании и оценке воздействия на фауну рекомендуется рассматривать следующее:

- » характеристику животного мира в зоне воздействия объекта;
- » оценку территории в зоне воздействия объекта как мест обитания основных групп животных (для рыб – зимовальные ямы, места нагула, нереста и т.д.);
- » прогноз изменений животного мира при строительстве и эксплуатации объекта;
- » оценку последствий изменений животного мира в результате реализации проекта;
- » мероприятия по снижению ущерба водной и наземной фауны и сохранению основных мест обитаний животных при строительстве и эксплуатации объекта;
- » оценку ущерба животному миру вследствие изменения условий обитания при реализации проектных решений. Компенсационные мероприятия;
- » объем природоохранных мероприятий и оценку стоимости компенсационных мероприятий и мер по охране животного мира при нормальном режиме эксплуатации объекта, а также в случае аварий.

Оценка состояния животного мира (позвоночных животных – млекопитающих, птиц, земноводных, пресмыкающихся, рыб) на территории города проводится в случае размещения участка проектируемого строительства в непосредственной близости от природных и озелененных территорий основных мест обитания видов животных, занесенных в Красную книгу.

Комплексное обследование состояния сообществ животных, обитающих в городе, проводится для определения уровня современной антропогенной нагрузки на редких и исчезающих животных, обитающих на исследуемой территории, характера негативных факторов воздействия на животные сообщества и выявления редких и исчезающих видов.

5.3. Оценка воздействия по критериям биологического мониторинга

Биологический мониторинг предназначен для решения следующих задач:

- » информационное обеспечение деятельности по сохранению биоты: определение состояния биотической составляющей биосферы (на различных уровнях организации биосистем) и ее реакции на антропогенное воздействие.
- » оценка состояния окружающей среды по биотическим параметрам. Особую роль играет выявление начальных стадий неблагоприятных изменений среды, к которым многие компоненты биоты намного чувствительнее, чем человек.

Кроме того, существуют многие частные формы биологического мониторинга для информационного обеспечения конкретных направлений деятельности по охране окружающей среды.

Оценка качества среды и антропогенных изменений экосистем может проводиться по абиотическим параметрам и по биотическим (на основе определения, анализа и интерпретации различных характеристик биоты). Оба подхода имеют свои преимущества и недостатки (табл. 5.3.1).

Таблица 5.3.1.

Преимущества и недостатки подходов к оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) по абиотическим и биотическим показателям (Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф., 2002)

№	Подход	Преимущества	Недостатки	Примеры
1	Оценка по абиотическим показателям	Известны значения ряда конкретных факторов	Оценка неточна из-за: 1. общих недостатков системы ПДК; 2. малой доли учтенных факторов; 3. недоучета эффекта взаимодействия факторов; 4. недоучета фоновых особенностей среды	Перечни ПДК и ОБУВ, ИСО 10304-1:1992, 10703:1997, 11732:1997 и др.
2	Оценка по биотическим показателям	Многие методы гарантируют весьма надежную оценку	Лимитирующие факторы и их значения неизвестны	ИСО 9998:1991, 10707:1994, 11733:1995, 10705:1995, метод Вудивисса, шкалы сапробности, и др.
3	Оценка по абиотическим и биотическим показателям отдельно, сравнение результатов	Надежность оценки выше, чем при 1,2, за счет сравнения абиотических и биотических показателей. Известны значения ряда факторов	Вероятность недоучета части лимитирующих факторов остается значительной. Закономерности детерминации состояния среды лимитирующими факторами остаются неизвестными	ГОСТы «Охрана природы» (17.1.3.07-82, 17.1.3.08-82, и др.), СНиП 2.1.4.559-96, «Бельгийский» метод и др.

продолжение таблицы 5.3.1.

№	Подход	Преимущества	Недостатки	Примеры
4	Оценка на основе связи биотических и абиотических показателей	Устанавливаются и лимитирующие факторы, и закономерность их действия. Надежность ОВОС максимальна. Лучшая основа для экологического нормирования и регуляции среды	Наибольшая трудоемкость, наиболее высокие требования к квалификации экологов	Некоторые экологические нормы пресноводных и лесных экосистем

Абиотические параметры удобнее тем, что непосредственно характеризуют состав среды, ее конкретные негативные изменения, причем имеют строгое количественное выражение. Однако получить по ним полную характеристику среды невозможно, поскольку:

- » остается неясным главное — насколько абиотические условия в целом соответствуют потребностям биоты.
- » современные антропогенные воздействия на экосистемы, как правило, весьма сложны. Как бы велико ни было количество абиотических параметров, определенных исследователем, нет гарантии, что удалось полностью учесть все влияющие факторы.
- » реакция экосистем существенно зависит не только от состава факторов, но и сложного эффекта от их взаимодействия.

Преимущество использования биотических параметров заключается в их большей надежности и объективности. Состояние биоты определяется общим состоянием абиотической среды и четко реагирует на негативные воздействия любого происхождения, независимо от полноты их учета и степени изученности.

Это определяет особую важность биотических характеристик как объекта мониторинга и оценки воздействий на окружающую

среду. Но, адекватно отражая степень негативного воздействия в целом, оценка состояния и изменений биоты не объясняет, какими именно факторами они создаются.

Наиболее эффективным оказывается сочетание обоих подходов. При этом состояние всей среды в целом достаточно надежно оценивается по результатам учета и анализа биотических показателей, а прямая оценка физико-химических характеристик помогает разобраться, какие из антропогенных факторов наиболее сильно ухудшают среду и как именно это происходит.

Существуют два методологически различных пути оценки состояния среды по характеристикам биоты: биотестирование и биоиндикация.

Биотестирование – это оценка качества среды при активном вмешательстве в природные процессы, путем постановки эксперимента в природных или лабораторных условиях. Суть биотестирования сводится к определению последствий взаимодействия подопытных организмов («**тест-объектов**») с испытываемой средой. О степени воздействия среды судят, сопоставляя изменения характеристик тест-объектов при различной продолжительности опыта в изучаемых средах. Негативное влияние испытываемой среды оценивается по выживаемости, плодовитости, заболеваемости, скорости роста и индивидуального развития, особенностям поведения, морфологическим изменениям организмов – тест-объектов.

Биоиндикация – это оценка качества среды по состоянию тех или иных представителей ее населения – биоты, осуществляемая путем наблюдения за ними, без активного (экспериментального) вмешательства в природные процессы. Объектами таких наблюдений (**биоиндикаторами**) могут служить биосистемы любого уровня организации. Оценка качества среды проводят по **биоиндикаторным признакам** – тем характеристикам наблюдаемых биосистем, которые наиболее полно и точно отражают степень их благополучности.

Для биоиндикации можно использовать показатели биосистем всех рангов:

- » организм и суборганизменные структуры;
- » популяции;
- » многовидовые биосистемы (сообщества; экосистемы).

К биосистемам суборганизменных рангов относятся молекулы и молекулярные комплексы (белки, нуклеиновые кислоты и др.), клеточные органоиды, клетки, ткани, органы и системы органов. Для биоиндикации наиболее показательны следующие характеристики:

- » химический состав клеток;
- » состав, структура и степень функциональной активности ферментов;
- » структурно-функциональные характеристики клеточных органоидов;
- » размеры клеток, их морфологические характеристики, уровень активности;
- » гистологические показатели;
- » концентрации поллютантов в тканях и органах;
- » частота и характер мутаций, канцерогенеза, тератогенеза.

Следует отметить, что последствия тератогенных воздействий различны: в одних случаях тератогенез может проявляться только на уровне клеточных органоидов, отдельных клеток; в других – затрагивает ткани, органы и весь организм.

Большое значение для биоиндикации состояния окружающей среды и ее антропогенных изменений имеют многочисленные структурные (анатомические) и функциональные (физиологические) характеристики организма.

При биоиндикации и биотестировании в качестве функций благополучия успешно используют следующие статические и динамические популяционные характеристики (табл. 5.3.2).

Таблица 5.3.2.
Основные биоиндикаторные характеристики популяций
(Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф., 2002)

Характеристика	Размерность
Статические характеристики (в момент времени t)	
Численность: n_t – общее количество особей в популяции	экз.
Плотность: N_t – количество особей в единице объема или на единице площади	экз.×[пл.] ⁻¹ , экз.×[об.] ⁻¹
Биомасса: B_t – суммарная масса особей в единице объема или на единице площади	[м.]×[пл.] ⁻¹ , [м.]×[об.] ⁻¹
Средняя масса особи: W_t – соотношение биомассы и плотности (простейшая характеристика размерно-весовой структуры; более точную оценку дает анализ ее гистограммы)	[м.]
Соотношение плотности особей разного пола (простейшая характеристика половой структуры популяции)	–



продолжение таблицы 5.3.2.

Характеристика	Размерность
Показатели неравномерности пространственного распределения особей (простейшая характеристика: σ^2/\bar{N} – соотношение дисперсии и средней арифметической популяционной плотности; и др.)	–
Динамические характеристики (за период времени $\Delta t = t_2 - t_1$)	
Скорость абсолютного изменения популяционной плотности: $\delta N/\delta t = (N_2 - N_1) \times \Delta t^{-1}$; N_1 и N_2 – значения N_t в моменты t_2 и t_1	экз. × [пл.] ⁻¹ × [вр.] ⁻¹ , экз. × [об.] ⁻¹ × [вр.] ⁻¹
Скорость абсолютного изменения биомассы популяции: $\delta V/\delta t = (V_2 - V_1) \times \Delta t^{-1}$; V_1 и V_2 – значения V_t в моменты t_2 и t_1	[м.] × [пл.] ⁻¹ × [вр.] ⁻¹ , [м.] × [об.] ⁻¹ × [вр.] ⁻¹
Скорость относительного изменения популяционной плотности: $\rho_N = \delta N/\delta t \times \bar{N}^{-1}$; \bar{N} – средняя плотность за период Δt	[вр.] ⁻¹
Скорость относительного изменения популяционной биомассы: $\rho_B = \delta V/\delta t \times \bar{V}^{-1}$; \bar{V} – средняя биомасса за период Δt	[вр.] ⁻¹
Удельная рождаемость: $\beta = N_{\beta} \times \bar{N}^{-1} \times \Delta t^{-1}$; N_{β} – приращение популяционной плотности за Δt из-за рождения новых особей	[вр.] ⁻¹
Удельная смертность: $\delta = N_{\delta} \times \bar{N}^{-1} \times \Delta t^{-1}$; N_{δ} – убыль популяционной плотности за период Δt из-за гибели особей	[вр.] ⁻¹
Реализуемая доля «биотического потенциала» вида: ($\rho_N \max п. / \rho_N \max п.$) – соотношение максимального значения ρ_N реализуемого изучаемой популяцией ($\rho_N \max п.$), и «биотического потенциала» вида (максимального значения ρ_N реализуемого данным видом в идеальных условиях).	–
Соотношение фундаментальной $\mathfrak{R}f$ и реализованной $\mathfrak{R}r$ ниш Хатчинсона: ($\mathfrak{R}f/\mathfrak{R}r$)	–
Продукция популяции: $P_{\Delta t} = B_1 - B_2 + Bel$; Bel – биомасса, элиминированная из популяции (т.е. удаленная вследствие гибели или эмиграции особей) за период Δt	[м.] × [пл.] ⁻¹ , [м.] × [об.] ⁻¹ , [эн.] × [пл.] ⁻¹ , [эн.] × [об.] ⁻¹
Обозначения: экз. – экземпляры, [м.], [эн.], [пл.], [об.], [вр.] – единицы массы, энергии, площади, объема, времени, соответственно.	

При биоиндикации используют следующие характеристики сообществ:

Статические характеристики сообщества

Видовой состав (перечень биологических видов сообщества) – основная, качественная характеристика.

Видовое богатство – количество видов в сообществе.

Показатели обилия: **численность, плотность, биомасса сообщества** (аналогично соответствующим популяционным параметрам).

Структурные характеристики – показатели структуры сообщества, соотношение суммарных показателей обилия:

- » разных видов (видовое разнообразие) или более крупных таксонов;
- » представителей разных стратегий питания (трофическая структура);
- » особей с разными размерами (массой) (размерно-весовая структура);
- » видов с различными ценотическими стратегиями (например, р- и К-стратегов; виолентов, пациентов и эксплерентов);
- » видов с разной чувствительностью к воздействиям (эврибионтов и стенобионтов);
- » видов с разным поведением, и др.

Обычно негативное антропогенное воздействие приводит к уменьшению количества видов в сообществах (за счет исчезновения стенобионтов) и нарушает выравненность значений их популяционной плотности.

Динамические характеристики сообщества:

1) Показатели динамики статических характеристик сообщества

Как и при изучении динамики популяций, динамическими характеристиками сообщества могут служить:

- » величина изменения значений какой-либо статической характеристики X (плотности, биомассы сообщества, индексов разнообразия и др.) за изучаемый период времени $\Delta t = t_2 - t_1$;

$$\Delta X_{\Delta t} = X_2 - X_1$$

X_1 и X_2 – значения X_t в моменты t_2 и t_1 .

- » скорость абсолютного изменения значений статической характеристики в момент времени t :

$$\delta X / \delta t \approx (X_2 - X_1) \times \Delta t^{-1};$$

- » скорость относительного изменения значений статической характеристики в момент времени t :

$$rX = \delta X / \delta t \times \bar{X}^{-1}$$

\bar{X} — средняя биомасса за период Δt .

2) Функциональные характеристики сообществ

К функциональным характеристикам сообществ относятся эколого-физиологические показатели (составляющие физиологического «балансового равенства» организма и др.), рассчитанные для всего сообщества в целом, а также различные их соотношения.

Из соотношений эколого-физиологических характеристик для сообществ и экосистем наиболее часто используют:

- » отношение «реальной» продукции сообщества к его суммарным тратам на обмен за какой-либо период времени (P/R -коэффициент);
- » отношение «реальной» продукции сообщества за какой-либо период времени к среднему значению биомассы за этот период (P/B -коэффициент — удельная продуктивность сообщества), и др.

В стабильной экосистеме процессы производства и потребления биологической продукции идут с постоянными скоростями и хорошо сбалансированы ($P \approx R$), поэтому воздействие биоценоза на свой биотоп сведено к минимуму. Автогенная сукцессия экосистем обычно характеризуется преобладанием процессов деструкции органического вещества над продукционными процессами ($P/R < 1$), увеличением замкнутости внутреннего круговорота веществ и энергии и возрастанием способности экосистемы к саморегуляции, самоочищению и сохранению высокого качества внутренней среды. Аллогенная сукцессия, как правило, сопровождается обратными процессами ($P/R > 1$). Биотоп постепенно загрязняется накапливающимися, не минерализуемыми полностью органическими веществами. Способность экосистемы к саморегуляции уменьшается, качество ее внутренней среды постепенно ухудшается.

Различают регистрирующие и накапливающие, или аккумулярующие биоиндикаторы. Показатели регистрирующей биоиндикации позволяют судить об общем уровне воздействия факторов среды на биоту. Биоиндикация по аккумуляции позволяет количественно оценивать сами факторы (химические), используя свойство организмов накапливать загрязняющие вещества в своих тканях, определенных органах и частях тела. Концентрация некоторых поллютантов, медленно выводимых из организма (например,

металлов, некоторых хлорорганических соединений, и др.), может превышать таковую в окружающей среде на несколько порядков.

Кроме того, с помощью химического анализа иногда удается не только оценить современный уровень загрязненности окружающей среды, но и ретроспективно оценить предыдущую динамику концентрации различных поллютантов (путем сравнения их концентрации в органах разного возраста).

Примером эффективных накапливающих биоиндикаторов могут служить хитиновые панцири водных ракообразных и личинок насекомых, моллюски и их раковины (последние долго сохраняются и могут использоваться для индикации даже после гибели моллюска), мхи, некоторые органы птиц и млекопитающих (мозг, почки, селезенка, печень, и др.)

Для биоиндикации наземных экосистем наиболее часто используют показатели состояния высших растений, лишайников, мхов, почвенных водорослей, бактерий и др.

Высшие растения. В целом, ПДК для высших растений оказываются существенно меньшими, чем для человека. При этом устойчивость различных растений к поллютантам атмосферного воздуха различна. Для условий лесной полосы России наиболее чувствительны к загрязнению воздуха хвойные леса. Сосна обыкновенная считается важнейшим биоиндикатором антропогенного влияния. Информативными показателями техногенного загрязнения являются:

- » статические морфологические и анатомические показатели сосен;
- » динамические показатели (величины годового прироста);
- » характеристики хвои (продолжительность жизни, масса, характерные повреждения — пигментации, хлорозы, некрозы, усыхания);
- » показатели состояния генеративных органов — женских шишек (их размеры, количество, обилие семян);
- » показатели обилия и разнообразия фауны беспозвоночных — вредителей деревьев; и др.

Лишайники служат очень надежными индикаторами загрязнения воздуха. Лихенофлору традиционно используют для биоиндикации («лихеноиндикация»). Особенно активно лишайники накапливают металлы (гораздо более эффективно, чем сосудистые растения). Реакция лишайников на антропогенные воздействия видоспецифична, однако существуют и некоторые общие закономерности реакции различных крупных групп лишенофлоры на загрязнение воздуха.



Для биоиндикации используют следующие характеристики лишенофлоры:

- » видовой состав;
- » показатели видового богатства и разнообразия лишенофлоры;
- » показатели обилия (биомасса, проективное покрытие) конкретных видов и лишенофлоры в целом;
- » индексы соотношения показателей обилия кустистых, листоватых и накипных лишайников;
- » доля эпифитных лишайников в общих показателях обилия лишенофлоры;
- » морфологические и структурные показатели.

По степени влияния антропогенных факторов на различные виды лишайников выделяют 10 классов их полеотолерантности. Вид относится к тому классу полеотолерантности, при антропогенных условиях которого он наиболее часто встречается, имеет наивысшие показатели покрытия и жизнеспособности. Иными словами, он служит индикатором этих условий (Грасс, 1985).

К первому классу относятся естественные местообитания практически без антропогенного влияния, а к десятому — городские и индустриальные условия обитания с сильным антропогенным влиянием и среднегодовым содержанием SO_2 170 мкг/м³ и более. Таким образом, видовой состав лишайников-индикаторов степени загрязнения воздуха, относящихся к одному классу полеотолерантности (широкой устойчивости), в разных природных условиях существенно различается и градируемо (например, по классам) отражает степень изменения разных местообитаний в результате деятельности человека. По уменьшению обилия лишайников можно судить о повышении уровня стресса на сильно загрязненных территориях. Степень покрытия коры деревьев лишайниками уменьшается по мере увеличения концентрации SO_2 в воздухе. Средние индексы полеотолерантности (ИП) определяют по формуле:

$$\text{ИП} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i c_i}{c_n}$$

где: n — число видов на площадке описания; a_i — класс полеотолерантности вида; c_i — покрытие вида; c_n — суммарное покрытие видов.

Чем больше ИП, тем более загрязнен воздух в соответствующем местообитании. В зависимости от точности работ на индикационных картах можно выделить несколько зон, различных по уровню загрязнения (табл. 5.3.3).

Таблица 5.3.3.

Оценка загрязненности атмосферы диоксидом серы по ИП

ИП	Среднегодовая концентрация SO_2 в воздухе, мг/м ³	Условная зона
1–2	<0,01	нормальная
2–5	0,01–0,03	малого загрязнения
5–7	0,03–0,08	среднего загрязнения
7–10	0,08–0,10	сильного загрязнения
10	0,10–0,30	критического загрязнения
0	>0,30	лишайниковая пустыня

Микромицеты используют в целях биоиндикации на молекулярном, клеточном, организменном, популяционном, биоценотическом уровнях. На молекулярном уровне хорошими маркерами генотипической изменчивости грибов служат электрофоретические спектры белков и изоферментов. Они определяют мутационное воздействие загрязнителей, глубину имеющихся изменений и позволяют предсказать последствия антропогенного воздействия.

Примером оценки степени антропогенного воздействия на микромицеты на клеточном уровне может служить регистрация различных морфологических уродств клеток мицелия или спор. Отклонения от нормального развития, различные нарушения в жизненном цикле, редукция отдельных стадий, выявленные при сопоставлении микромицетов в естественных и антропогенно нарушенных ценозах, представляют интерес для биоиндикации на организменном уровне.

Важным индикационным признаком является внутривидовое фенотипическое разнообразие их морфологических, физиологических, биохимических признаков под воздействием окружающей среды. К популяционному уровню относятся также нарушения жизненного цикла, выраженные в изменении спороношения, биомассы мицелия, отсутствия спор прорастания, определяют особенности дальнейшего развития популяций.

К важным индикационным признакам биоценотического уровня относятся оценки:

- » видового разнообразия в комплексах микромицетов с помощью различных индексов;
- » соотношения численности разных видов, их относительно обилия;

- » частоты встречаемости;
- » количества и биоэкологических особенностей доминирующих видов;
- » динамики комплексов грибов.

В биоте водоемов и водотоков принято выделяют следующие основные сообщества гидробионтов (водных организмов):

- » **нейстон** — сообщество *нейстали*, поверхностного слоя воды, граничащего с атмосферой;
- » **пелагос** — сообщество *пелагиали* водоема, толщи воды делится на **планктон** («парящий» — организмы, более или менее пассивно переносимые течением) и **нектон** («плавающий» — активные пловцы);
- » **дрифт** — сообщество организмов, переносимых течением водотока;
- » **бентос** — сообщество *бентали* — дна и придонного слоя воды;
- » **перифитон** («обрастания») — сообщество организмов, прикрепленных к поверхности различных предметов и других, более крупных организмов в толще воды.

В планктоне и бентосе традиционно выделяются фито-, зоо- и бактериоценозы. Фитопланктон и фитобентос составляют водоросли и сине-зеленые. Кроме того, в фитобентос входят также **макрофиты** («крупные растения» — водные высшие растения, мхи и крупные водоросли). Организмы зоопланктона и зообентоса — беспозвоночные животные.

Использование некоторых структурных и функциональных характеристик указанных сообществ (особенно — фито-, зоо- и бактериопланктона и бентоса) для оценки качества водной среды (наряду с абиотическими показателями) является уже традиционным и даже обязательным (ГОСТ 17.1.3.07-82; 17.1.2.04-77; РД 52.24.565-96; 52.24.564-96; 52.24.420-95, и др.).

Наиболее широко применяется оценка скорости аэробной деструкции органических веществ — **биохимическое** (или «биологическое») **потребление кислорода (БПК)** планктоном. БПК легко определяется экспериментально; выражается обычно в миллиграммах кислорода, расходуемого при деструкции в единице объема воды ($\text{мг O}_2/\text{л}$) в условиях изоляции от солнечного света за период экспозиции (обычно — 5 суток; соответствующая величина БПК обозначается БПК_5). БПК_5 служит одним из 6 обязательных показателей при расчете индекса загрязненности воды.

Первичная продуктивность водных экосистем и их способность к самоочищению обычно оцениваются по величинам **первичной**

продукции планктона ($\text{мг O}_2/\text{л/сут}$) и по соотношению скоростей образования валовой первичной продукции и деструкции (P/R).

Сапробностью называется степень загрязненности водоема органическими веществами, доступными редуцентам. Шкала оценки степени загрязненности водоемов основана на учете присутствия в сообществах гидробионтов индикаторных видов, чьи требования к качеству среды более или менее известны. В основу шкалирования сапробности положен принцип, отражающий степень оксифильности гидробионтов-индикаторов. Водоемы и отдельные участки их акватории классифицируются по степени загрязненности органическими веществами следующим образом (ГОСТ 17.1.3.07-82):

- » ксеносапробная зона (I класс чистоты) — вода «очень чистая»;
- » олигосапробная зона (II класс чистоты) — вода «чистая»;
- » бета-мезосапробная зона (III класс чистоты) — вода «слабо (умеренно) загрязненная»;
- » альфа-мезосапробная зона (IV класс чистоты) — вода «загрязненная»;
- » полисапробная зона (V класс чистоты) — вода «грязная»;
- » гиперсапробная зона (VI класс чистоты) — вода «очень грязная».

Система оценки сапробности постоянно модифицируется, в настоящее время в системе Госкомгидромета при оценке сапробности используется количественный показатель — индекс сапробности (\bar{S}):

- » гиперсапробная зона — $\bar{S} > 4$;
- » полисапробная — $\bar{S} = 3,51-4,00$;
- » α -мезосапробная — $\bar{S} = 2,51-3,50$;
- » β -мезосапробная — $\bar{S} = 1,51-2,50$;
- » олигосапробная — $\bar{S} = 1,00-1,50$;
- » ксеносапробная — $\bar{S} < 1$.

Принятая классификация качества воды водоемов и водотоков по биотическим показателям (ГОСТ 17.1.3.07-82) учитывает следующие характеристики:

- » отношение общей плотности олигохет к общей плотности сообщества зообентоса (класс *Oligochaeta* — малощетинковые черви; многие их виды характеризуются повышенной устойчивостью к загрязнению и гипоксии, что определяет высокое абсолютное и относительное обилие олигохет в бентосе загрязненных водоемов);

- » концентрацию в воде бактерий (всех и отдельно — сапрофитных, т.е. активно разлагающих органические вещества);
- » индекс сапробности по Пантле-Буку;
- » индекс сапробности (в модификации Сладечека) по фитопланктону, зоопланктону, перифитону;
- » «биотический индекс» Вудивисса.

При анализе любых взаимодействий человека с объектами биотической среды города необходимо помнить, что как позитивные, так и негативные (с точки зрения человека) последствия таких взаимодействий являются закономерной реакцией биоты на все те изменения, которые он вносит в природные ландшафты и экосистемы в процессе создания и развития городов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что является объектами градостроительной деятельности?
2. Каков основной состав инженерных изысканий для строительства как источников сведений о природно-техногенных условиях и экологическом состоянии территории застройки?
3. Какие методы используются для комплексной оценки воздействия на городскую среду природных и антропогенных факторов?
4. В чем проявляется воздействие городской инфраструктуры и строительства на растительный и животный мир?
5. Какие изменения необходимо учитывать при оценке воздействия объекта на состояние растительности?
6. На чем основываются ботанические критерии нарушенности территории?
7. Как используется степень синантропизации фитоценозов в качестве показателя антропогенной трансформации растительности?
8. Какие показатели необходимо отражать при анализе растительности в районе намечаемой деятельности?
9. Что должна отражать характеристика животного мира в районе предполагаемого размещения проектируемого объекта?
10. Какие зоологические критерии используются для оценки воздействия на животных?

Библиографический список

1. Букс И.И., Фомин С.А. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Кн. 1: учебное пособие. — М.: МНЭПУ, 1999. — 127 с.
2. Говорушко С.М. Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду. — Владивосток: Дальнаука, 1999. — 171 с.
3. Головина Ю.Ю. От истории развития процедуры ОВОС к необходимости разработки методологии оценки воздействия // Вестник МГТУ, 2006, т. 9, № 3. — С. 478-485.
4. Данилов-Данильян В.И., Залиханов М.Ч., Лосев К.С. Экологическая безопасность. Общие принципы и российский аспект. — М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. — 332 с.
5. Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза. Практика: учебное пособие. — М.: Изд-во Аспект-Пресс, 2002. — 287 с.
6. Лобачева Г.К. и др. Оценка воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и здоровье населения: учебное пособие [для студ. вузов] 2-е изд., перераб. — Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2011. — 238 с.
7. Коньк О.А. оценка воздействия на окружающую среду (ВОС) и экологическая экспертиза [Электронный ресурс]: учебное пособие: самост. учеб. электрон. изд.; — Сыктывкар: СЛИ, 2013. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
8. Максименко Ю.Л., Горкина И.Д. Оценка воздействия на окружающую среду: пособие для практиков. — М.: РЭФИА, 1996. — 92 с.
9. Матвеев А.Н., Самусенок В.П., Юрьев А.Л. Оценка воздействия на окружающую среду: учебное пособие. — Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2007. — 179 с.

10. Оценка воздействия на окружающую среду и российская общественность: 1979-2002 годы [монография] / Под ред. А.В. Дроздова. — М.: Товарищество научных издательств КМК, 2006. — 428 с.
11. Приказ Госкомэкологии России от 16 мая 2000 г. № 372 «Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в РФ». Зарегистрирован в Минюсте РФ 4 июля 2000 г. № 2302.
12. Практическое пособие к СП 11-101-95 по разработке раздела «Оценка воздействия на окружающую среду» при обосновании инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений. — М.: ГП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», 1998. — 89 с.
13. Сорокин Н.Д. Справочник нормативно-правовых актов по вопросам охраны окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. — СПб: Интеграл, 2005. — 320 с.
14. Соколов О.А., Черников В.А., Лукин С.В. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. — Белгород: Константа, 2008. — 188 с.
15. Таллер Е.Б., Яшин М.И., Тихонова М.В., Бузылёв А.В. Лабораторный практикум по экологии. Часть I. Биоиндикация: Учебное пособие. / Составители: Е.Б. Таллер, М.А. Яшин., М.В. Тихонова, А.В. Бузылёв — М.: ДПК Пресс, 2021. — 106 с. — ISBN 978-5-91976-211-9
16. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. Управление экологической безопасностью строительства. Экологическая экспертиза и оценка воздействий на окружающую среду / Учебно-методическое пособие. — М.: АСВ Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. — 501 с.
17. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. — М.: Протектор, 2001. — 304 с.
18. Экология крупного города (на примере Москвы): учебное пособие под общей ред. А.А. Минина. — М.: «ПАСЬВА», 2001. — 192 с.
19. Экологическая оценка и экологическая экспертиза / Под ред. О.М. Черп и др. — М.: Соц.-Эколог. Союз, 2001. — 312 с.
20. Экологическая экспертиза / Под ред. В.М. Питулько. — М.: ACADEMIA, 2004. — 476 с.
21. Vasenev I.I., Devyatova T.A., Kulizhskiy S.P., Nesterova O.V., Strelnikov V.V., Prokhorov I.S., Semal V.A., Grachev D.A., Korzhik I.A. Ecological LLL needs analysis for the Tempus project No. 530397-TEMPUS-1-2012-1-SK-TEMPUS-SHMES «Strengthening the Lifelong Learning in Environmental Sciences in Russia» (STREAM). — Moscow: RTSAU — PH «Scripta Manent», 2013. — 64 p.



Е.Б. Таллер, М.В. Тихонова, А.В. Бузылёв,
С.Ю. Ермаков, И.В. Андреева

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА НА БИОТУ

Издается в авторской редакции

Издательская группа:

В. В. Чернякина

Т. С. Андросов

А. В. Высоцкий

А. В. Логинова

Д. П. Куваева

А. С. Китова

Издательство «ДПК Пресс»

г. Москва, ул. Самокатная, 4а, с.1

+7 (495) 724-34-86; +7 (495) 788-83-81

www.dpk-press.ru

Отпечатано в типографии «ДПК Пресс»

Формат 60x90/16. Гарнитура «Loga».

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Подписано в печать 06.12.2021 г.

Тираж 500 экз.