

В.В. ВАРФОЛОМЕЕВА, А.В. ТЕРЕНТЬЕВ

**СОВРЕМЕННАЯ
ЭКОЛОГИЯ**

САМАРА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

В.В. ВАРФОЛОМЕЕВА, А.В. ТЕРЕНТЬЕВ

СОВРЕМЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов и специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

САМАРА

Издательство Самарского университета

2023

УДК 504(075)

ББК Б1я7

В187

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор В. А. З р е л о в,
ведущий инженер отдела охраны атмосферного воздуха
ООО «СамараНИПИнефть» А. В. Т р о ф и м о в

Варфоломеева, Вера Васильевна

В187 Современная экология: учебное пособие / *В.В. Варфоломеева, А.В. Терентьев.* – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – 68 с.

ISBN 978-5-7883-1902-5

Рассмотрены современные принципы и методы защиты биосферы от загрязнений. Показаны причины и характер проявления различных антропогенных воздействий на окружающую среду, различные экосистемы. Описаны глобальные проблемы: разрушение озонового слоя, кислотные осадки. Приведены цифровые технологические решения, уменьшающие воздействие на окружающую среду. Изложены правовые аспекты и международное сотрудничество в области природопользования. Учебное пособие формирует у студентов экологическое мышление в решении многообразных проблем защиты окружающей среды.

Предназначено обучающимся по направлениям подготовки 13.03.03, 15.03.04, 15.03.05, 24.03.05 и специальности 24.05.02 и может быть полезно обучающимся других специальностей и направлений подготовки. Подготовлено на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности.

УДК 504(075)

ББК Б1я7

ISBN 978-5-7883-1902-5

© Самарский университет, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ	6
1.1. Понятие системы в экологии	6
1.2. История развития науки	11
1.3. Взаимоотношения организмов и среды обитания	14
1.4. Экология сообществ (синэкология).....	19
2. БИОСФЕРА И ЧЕЛОВЕК	26
3. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ.....	33
3.1. Разрушение озонового слоя	36
3.2. Кислотные осадки.....	39
4. ЭКОЗАЩИТНЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ.....	41
5. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРАВА И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	44
6. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	46
7. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	49
7.1. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху населённых мест	50
7.2. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.....	53
7.3. Основные мероприятия, позволяющие обеспечить гигиенические нормативы	54
7.4. Норматив предельно допустимых выбросов при загрязнении атмосферы одиночным источником	55
7.5. Определение границ санитарно-защитной зоны предприятий.....	56
7.6. Основные методы очистки воздуха от загрязняющих веществ	58
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	63

ВВЕДЕНИЕ

Наше общество живёт в эпоху глобального цивилизационного кризиса, в котором технаучка и особенно цифровые технологии становятся силой, способной коренным образом изменить жизнедеятельность человека, поэтому наиболее актуальной задачей является обретение системы знаний. Нарастающий интерес к экологическим проблемам государства и граждан формирует предпосылки для создания и внедрения проектов, способных эффективно и быстро решать как локальные экологические проблемы (например, стать нашим городам более экологически чистыми и комфортными для жизни), так и глобальные проблемы, связанные с климатическими изменениями. На первый план выходит экологическая составляющая любой инновации, то есть инновация, помимо всего прочего, должна быть экологически приемлемой. По оценкам многочисленных экспертов экологические технологии станут лидирующими в развитии мирового хозяйства в XXI веке.

Соответствовать развитию цифровой экономики означает изменить уровень мышления. У студентов формирование экологического мышления происходит через рассмотрение всех этапов жизненного цикла сложной технической системы, начиная с момента необходимости в такой системе, разработки технического задания и заканчивая её полным выводом из эксплуатации. Экологическое мышление позволяет предусмотреть нежелательные последствия, связанные с ущербом от конкретной деятельности, путём определения и расчёта вероятностей возникновения различных рисков ещё на стадии системного проектирования. Под экологическим мышлением мы понимаем образ мыслей и обусловленных ими действий, направленных на теоретическую и практическую деятельность специалиста.

Цель дисциплины – сформировать экологический стиль мышления в принятии технических решений и профессиональной деятельности в подготовке инженеров, обладающих метаквалификацией.

Задачи дисциплины:

– дать базовые естественнонаучные понятия для создания представления о единстве всех составляющих биосферы, месте человека в биосфере и проблемах, вызванных воздействием на среду обитания промышленностью, энергетикой, транспортом (наземный и воздушный) для развития экологоориентированных профессиональных компетенций;

– обучить основам критического анализа существующей и создаваемой техники и технологии при исследовании технических проектов (с использованием метода диверсионного анализа) на предмет их соответствия законодательству Российской Федерации (РФ) в области охраны окружающей среды;

– развить способность применять в экологоориентированной производственной практике и междисциплинарном проектировании принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды.

1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ

Общая экология представляет накопленные знания на едином научном фундаменте. Как теоретическая экология она устанавливает общие закономерности функционирования природно-экологических систем, в том числе эколого-экономических, эколого-социальных, эколого-технических, эколого-информационных и т.д. Объекты и составляющие экологии можно рассматривать как сложную систему, обладающую определёнными признаками и структурой.

1.1. Понятие системы в экологии

Система – это сложный объект, состоящий из взаимосвязанных частей (элементов) и существующий как единое целое.

Естественная экологическая система – объективно существующая часть природной среды, которая имеет пространственно-территориальные границы и в которой живые (растения, животные и другие организмы) и неживые ее элементы взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом веществом и энергией [1].

При любом рассмотрении объекты живой и неживой системы никогда не бывают простыми. Более того, ко всем объектам мы употребляем термин «система», тем самым признавая их сложный характер. Взаимосвязь осуществляется с помощью передаваемой и получаемой информации, время имеет значение, и влияет на устойчивость системы в целом.

Сложность системы C определяется её разнообразием или числом возможных состояний s , которое зависит от числа элементов системы и связей между ними:

$$C = \lg s .$$

Системы, имеющие до тысячи состояний, условно относят к простым; до миллиона состояний – к сложным; свыше миллиона ($C > 6$) – к очень сложным. Все реальные биосистемы относят к очень сложным. Даже в структуре единичного вируса число биологически значимых молекулярных состояний превышает последнее значение.

Есть и другой критерий сложности, связанный с поведением системы, её реакцией на внешнее воздействие. Если система способна к акту решения, то есть к выбору альтернатив поведения (в том числе и с помощью случайного механизма), то такая решающая система считается сложной. Сложной будет и любая система, включающая в себя в качестве подсистемы хотя бы одну решающую систему.

Таким образом, в зависимости от уровня рассмотрения система может быть представлена как совокупность отдельных подсистем, компонентов и элементов. Сама система всегда будет являться подсистемой другой, более сложной системы. Каждый компонент системы может рассматриваться как система (подсистема) более широкой глобальной системы.

Определяющими признаками системы являются:

- целостность, определённая структура и иерархичность;
- общность условий существования;
- взаимозависимость системы и окружающей среды;
- наличие единой цели функционирования;
- наличие связей (прямая, обратная, взаимосвязь);
- способность к развитию;
- эмерджентность (наличие у системы свойств, не присущих её компонентам по отдельности).

В экологии понятие эмерджентности можно выразить так: одно дерево – не лес, один человек – не народ, скопление отдельных клеток – не организм. Муравьиная колония – яркий пример

эмерджентности: ведь королева не отдает прямых команд и указаний муравьям, они действуют автономно, согласно генетически закодированным правилам и взаимодействуя друг с другом. Тем не менее, колонии демонстрируют комплексное поведение, и даже способны решать сложные геометрические задачи, например, строить почти идеальную окружность. Все качества объектов природы оказываются эмерджентными и число их бесконечно.

В классификации систем эмерджентность может являться основной их систематики как критериальные признаки системы: мультипликативность; взаимодействие и взаимозависимость системы и внешней среды; структурность; иерархичность; непрерывность функционирования и эволюции; целенаправленность; адаптивность; альтернативность путей функционирования и развития; наследственность; приоритет интересов системы более широкого (глобального) уровня перед интересами её компонентов; надежность функционирования системы при выходе из строя одной из её компонент.

Иерархии в системе – это упорядоченная последовательность сподчинения и усложнения. Нижний предел разнообразия – не менее двух элементов (протон и электрон, катион и анион, он и она). Верхний – бесконечность. В экологии обычно рассматриваются только реальные материальные системы, которые определяются как совокупность объектов, объединённых некоторой формой регулярного взаимодействия или взаимозависимости для выполнения заданной функции.

Студент должен уметь разбираться в иерархии живых и технических систем. Знать соответствие рангу технической системы аналога в природе (см., например, [2]). Например, «техника + люди + ресурсы + система потребления» относятся к рангу 1 – Техносфера. Аналог в природе – Биосфера. Вся техника (все отрасли) – к рангу 2 – Техника. Аналог в природе – Фауна. Локомо-

тив, автомобиль, самолёт – к рангу 7 – Машина. Аналог в природе – Клетка. Химически чистое железо – к рангу 15 – Однородное вещество. Аналог в природе – Простое вещество (азот, кислород). Важно понимать, что взаимное влияние очень сильно на дистанциях в 1–2 ранга и, естественно, значительно слабее на дальних дистанциях, однако в той или иной мере оно всегда сохраняется.

Система определена входами и выходами, посредством которых система общается с окружающей средой (рис. 1). Если входы объекта однозначно определяют его выходы, то есть его поведение можно однозначно предсказать (с вероятностью 1), то объект является детерминированным в противном случае – недетерминированным (стохастическим). Входами системы являются процессы, информация, вещество (пища), энергия, которые подлежат преобразованию. Они изменяют её состояние, в результате чего система выдаёт «отклик» на воздействие в виде выходных сигналов (выходы системы).



Рисунок 1 – Взаимодействие системы с внешней средой

Любой вид информации, в форме звукового или электромагнитного сигнала, или вещества, передаваемой в систему может быть квалифицирован либо как чёткий, либо как нечёткий [3].



С точки зрения жизни, вать чёткую информацию невыгодно.

Если бы, например, лисы могли получать пищу только в виде зайцев или мышей определённого размера, то род лисицы исчез бы очень скоро. Свойственная человеку всеядность для поддержания жизни несравненно предпочтительнее.

Несмотря на приём внешней информации в нечёткой форме, «отклик» системы должен быть достаточно чётким. Например, фотосинтез идёт при самых разнообразных условиях освещения растений, а результат (выделение кислорода) всегда один и тот же. Благодаря фотосинтезу живые организмы получают кислород, необходимый для дыхания, а сами растения создают полезные органические вещества для жизнедеятельности.

Обменные процессы являются необходимым условием существования открытых систем. К определяющим признакам открытости системы относят взаимосвязь (прямая и обратная связь). Взаимосвязь и обратная связь функционируют в соответствии с принципом связанности, который заключается в выявлении сильно- и слабосвязанных элементов системы. Во время изменяющихся условий внешней среды очень важно определить слабое звено в жизни системы с учётом живой и неживой её составляющих. Обратная связь является основой саморегулирования, самоорганизации, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования.

Окружающая среда представляет собой то, что ограничено от самой системы и не принадлежит ей.

Окружающая среда – внешняя среда системы или совокупность объектов среды обитания и производственной

деятельности, которая характеризуется взаимодействием с неживыми (биотопы, включая объекты техносферы) и живыми (живые организмы, включая человека) компонентами.

Совокупность составляющих окружающей среды располагаются за границами системы, воздействуют на неё различными факторами. Характер воздействия факторов на систему может быть: благоприятным, нейтральным, агрессивным; активным, пассивным; потенциальным и т.д.

Человек как единая коллоидная система (ходячий коллоид) живёт в мире систем.

Студент должен уметь анализировать взаимоотношения человека и окружающей среды. Ответить на вопрос кто мы: «*Homo sapiens*» – человек разумный или «*Homo Consumens*» – человек-потребитель?

1.2. История развития науки

Изучая эту тему, студенту необходимо обратить внимание на историю развития науки «Экология», которую подразделяют на три этапа.

Первый этап – зарождение и становление экологии как науки (до 60-х годов XIX века). На этом этапе накапливались данные о взаимосвязи живых организмов со средой их обитания, делались первые научные обобщения. Элементы экологического подхода отражены в работах русских ученых И.И. Лепехина (1740–1802), А.Ф. Миддендорфа (1815–1894), С.П. Крашенинникова (1711–1755), французского ученого Ж.-Л. Бюффона (1707–1788), шведского естествоиспытателя К. Линнея (1707–1778), немецкого ученого Г. Йегера (1832–1917) и др.

В работах Ж.-Б. Ламарка (1744–1829) и Т. Мальтуса (1766–1834) впервые появилась озабоченность негативными последствиями воздействия человека на природу.

Второй этап – экология формируется как самостоятельное научное направление (с 60-х годов XIX века по 40-е годы XX века).

Немецкий биолог Эрнст Геккель (1834–1919) первый понял, что изучение взаимодействия живых организмов между собой и с окружающей средой – самостоятельная и очень важная область биологии, и назвал ее экологией. Вводя в 1866 году термин «**экология**» (*oikos* – дом, жилище; *logus* – учение, знание, наука), Геккель опирался на труды Ж.-Б. Ламарка, Э. Зюсса (1831–1914), А. Гумбольдта (1769–1859), Ч. Дарвина (1809–1882). В своём труде «Общая морфология организмов» он писал: «Под Экологией мы понимаем всю науку об отношениях организма к окружающему внешнему миру, включая, в широком смысле, все условия существования»¹.

Начало этапа также ознаменовалось выходом работ русских ученых К.Ф. Рулье (1814–1858), Н.А. Северцова (1827–1885), В.В. Докучаева (1846–1903), впервые обосновавших ряд принципов и понятий экологии, которые не утратили своего значения и до настоящего времени. В 1877 году немецкий биолог К. Мёбиус (1825–1908) предложил термин «**биоценоз**» как совокупность различных живых существ, обитающих на одной территории в определенных условиях среды и между собой тесно взаимосвязанных.

К 30-м годам XX века интенсивно развиваются экспериментальная и теоретическая база, изучаются состав, структура, функционирование наземных и водных комплексов. Эти исследования привели к выводу о необходимости совместного изучения биоценоза и биотопа. В эти же годы оформилась новая область экологической науки – популяционная экология (демэкология), основоположником которой следует считать английского ученого Ч. Элтона

¹ «Unter Oecologie verstehen wir die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Aussenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle “Existenz-Bedingungen” rechnen können» [4].

(1900–1991). В 1935 году английский ботаник А. Тенсли (1871–1955) выдвинул понятие «*экосистема*». Таким образом, становлению экологии как самостоятельной науки способствовали два принципиальных подхода – популяционный и экосистемный. В основе популяционного подхода лежит динамика численности организмов и их распределение в пространстве. Экосистемный подход сконцентрирован на процессах круговорота веществ и трансформации энергии. В 1942 году В.Я. Сукачев (1880–1967) обосновал близкое ему представление о *биогеоценозе*.

Неоценимый вклад в развитие основ экологии внес Чарльз Дарвин, вскрывший основные факторы эволюции органического мира. То, что Дарвин называл «борьбой за существование», с эволюционных позиций можно трактовать как взаимоотношение живых существ с внешней (абиотической) средой и между собой (с биотической средой).

Необходимо обратить особое внимание на основные положения *учения академика В.И. Вернадского* (1863–1945), особенно на положение об определяющем значении воздействия живого вещества на формирование облика планеты и биогеохимические принципы. Вернадский является основоположником научного направления, названного им *биогеохимией*, которое легло в основу современного учения о биосфере. Его биогеохимические принципы очень важны для понимания таких процессов, которые обычно называют «самоорганизацией биологических структур».

Третий этап (с 50-х годов XX века) связан с прогрессирующим загрязнением биосферы и резким усилением воздействия человека на природу. Системный подход, применяемый в экологии, позволяет анализировать факторы внешней среды, которые через обратную связь воздействуют на жизненный цикл любой сложной системы (рис. 1). Особенностью экологических исследований становится широкое использование математического моделирования

процессов, протекающих в биосфере, с целью поддержания ее устойчивости, а также необходимость разработки инженерных решений, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха, почвы, водных ресурсов.

Вначале третьего этапа развитием научного подхода к проблемам экологии занимались крупные зарубежные ученые Ю. Одум, Б. Небел, М. Андерсен, Э. Пианка, Р. Риклефс, М. Бигон, А. Швейдер, Д. Харпер, Р. Уиттекер, Н. Борлауг, Т. Миллер и др.

В России экологическим исследованиям посвящены труды И.П. Герасимова, А.М. Гилярова, В.Г. Горшкова, Ю.А. Израэля, К.С. Лосева, Н.Н. Моисеева, Н.Ф. Реймерса, В.В. Розанова, С.С. Шварца, А.В. Яблокова, А.Л. Яншина и др.

Четвёртый этап связан с переходом к цифровой экономике и внедрением «зелёных» цифровых технологий во все сферы деятельности и среду обитания человека.

Студенту необходимо ознакомиться с цифровыми технологиями для решения экологических проблем.

1.3. Взаимоотношения организмов и среды обитания

Понятие о живом организме и среде обитания. Экологические факторы (биотические, абиотические, антропогенные) и их действие. Закономерности воздействия факторов среды: закон минимума и толерантности. Адаптация. Гомеостат организмов.

Живой организм – биологическая система, обладающая разными уровнями организации, состоящая из согласованно взаимодействующих сложных частей системы, включая взаимосвязанность и соподчинённость её элементов и функционирующая как единое целое.

Уровни организации живой материи:

- молекулярный,
- клеточный,

- органно-тканевой,
- организменный,
- популяционно-видовой,
- биогеоценотический,
- биосферный.

Все особенности действия живых организмов начинают проявляться на молекулярном уровне. Именно молекулы являются теми промежуточными объектами между атомами и клеточными элементами, которые и обеспечивают функционирование высших по организации систем. Элементарной биологической системой, то есть системой самого низшего ранга, является клетка, так как нет систем еще более низкого ранга, которые бы обладали всей совокупностью признаков, присущих биологическим системам. Поведение и функционал клетки, во многом, определяется средой, в которой она находится. Понимание молекулярной организации каждого из элементов клеток живого существа требует ответа на вопрос, как молекулярные компоненты объединяются в целое, как осуществляется их регуляция для целенаправленного поведения человека или животного [5].

Следует обратить внимание на главные отличия живых организмов от неживого вещества. Первая ступень, на которой возможно разделение на живое и неживое – клетки и гомеостат.

Гомеостат – самоорганизующаяся система, моделирующая способность живых организмов поддерживать некоторые величины (температуру тела, артериальное и осмотическое давление, наличие в крови сахара, насыщенность крови кислородом и т.д.) в физиологически допустимых границах.

Организм не безразличен к тому, в каких пределах находятся его параметры, и с какой скоростью происходят их изменения. Организм реагирует не на абсолютное, а на относительное изменение, то есть зависящее от собственных свойств системы.

Для биологических систем характерно периодическое изменение различных характеристик. Период этих колебаний может быть

связан с периодическими изменениями условий жизни на Земле (смена времен года, смена дня и ночи т.п.). Смена сезонов влияет на биохимические процессы в организме. Студенту необходимо рассмотреть критерии, отличающие объекты живой природы от объектов неживой природы, к которым относятся: единство химического состава, обмен веществ, самовоспроизведение, наследственность, изменчивость, рост и развитие, дискретность, саморегуляция (гомеостаз), энергозависимость.

Непрерывным условием жизни является связь биологической системы со средой обитания. Живой организм непрерывно получает информацию и энергию из внешней среды и, в свою очередь, выделяет продукты жизнедеятельности также во внешнюю среду. Разрыв как одной, так и другой связи с внешней средой с неизбежностью приводит к смерти организма. Для иллюстрации необходимости непрерывного потока энергии отметим, что без пищи человек может прожить 15–30 дней, без воды – 5–10 дней, а без кислорода, принимающего участие в трансформации энергии в живых системах, – 5 минут [6].

Студенту необходимо рассмотреть экологические факторы. Понимать их значимость в формировании здоровья населения. Знать, что изменение уровня воздействия экологических факторов вызывает реакцию организмов: раздражимость, изменчивость, адаптация.

Раздражимость – это специфические избирательные ответные реакции организмов на изменения среды обитания.

Изменчивость – это способность организмов приобретать новые признаки и свойства. Изменчивость приводит к появлению новых форм жизни, новых видов организмов.

Адаптация – приспособление системы к окружающей среде, формирующейся в экстремальных природных и антропогенных условиях без потери своей идентичности.

Отвечая на воздействия факторов среды (биотические, абиотические, антропогенные), организмы взаимодействуют с ней, и приспосабливаются к ней, что помогает им выжить. Во многих случаях осуществляется отбор организмов с наибольшей выраженностью гомеостаза индивидуального развития, что в значительной степени препятствует проявлению в фенотипе мутаций вредными воздействиями среды. Человек адаптируется к факторам внешней среды через иммунную систему, но он уже не может приспособиться к тому, что сам натворил с самой средой обитания.

Биотические факторы – это факторы живой природы. Это различные проявления влияния друг на друга живых существ. Например, взаимодействия между особями в популяциях, между популяциями в природных сообществах.

Абиотические факторы – это факторы неживой природы. Наиболее важные температура, свет, радиоактивные излучения, давление, влажность воздуха, солевой состав воды, ветер, течения, рельеф местности и др., прямо или косвенно влияют на живые организмы.

Антропогенные факторы – это факторы результата деятельности человека искусственно созданные, которые приводят к изменению среды обитания всех видов биологической системы, и влияют непосредственно на их жизнь.

В ближайшие десять лет будут разработаны информационные системы прогнозирования влияния экологических факторов на здоровье, технологии снижения риска развития экологически зависимых состояний и заболеваний [5]. В настоящее время проводится ранжирование рисков для здоровья населения (в реальном режиме времени) от влияния приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха с использованием АИС «КАВ_риски» [7]. На примере 12 городов – участников федерального проекта «Чистый воздух» результаты представляются в информационной системе по

информированию о качестве атмосферного воздуха и оценки риска здоровью населения. Студент может пояснить экологические факторы на примере самых грязных городов России, используя данные федеральных программ «Чистый воздух» и «Чистая вода».

Выносливость живого организма определяется самым слабым звеном среди всех его потребностей (рост определяется не общим количеством доступных ресурсов, а наличием самого дефицитного ресурса, лимитирующего фактора). Эта идея впервые была высказана в 1828 году Карлом Шпренгелем (1787–1859) в приложении к агрохимии. В 1840 году она была распространена на другие области естественных наук Юстусом фон Либихом (1803–1873) и сейчас часто называется законом минимума.

Закон минимума распространён на все экосистемы с двумя ограничениями и относится: 1. только к системам, находящимся в стационарном состоянии; 2. не только к одному фактору, но и к совокупности факторов различных по своей природе и взаимодействующих в своём влиянии на организм и популяции. Сейчас лимитирующим считают такой фактор, по которому для достижения заданного (достаточно малого) относительного изменения «отклика» требуется минимальное относительное изменение этого фактора.

Закон толерантности В. Шелфорда (1877–1968), предложенный в 1911 году, расширяет закон Либиха. Закон утверждает, что каждый организм имеет определенный минимум, максимум и оптимум экологического фактора или комбинации факторов, которые определяют его благополучие. То есть, негативным может быть не только недостаток, но и избыток фактора. Диапазоны между этими двумя величинами (минимумом и максимумом) принято называть пределами толерантности (устойчивости, выносливости).

Таким образом, возможность выживания организмов и популяций зависит от состояния лимитирующих факторов, диапазона толерантности, компенсации факторов. Экологические факторы

различают по интенсивности воздействия на экосистемы. Так, в наземных экосистемах наиболее существенными по интенсивности воздействия являются солнечная радиация, температура воздуха, количество осадков, скорость ветра.

1.4. Экология сообществ (синэкология)

Понятие о сообществах, биоценозе и биотопе. Экосистема. Продуктивность экосистемы. Экологическая ниша. Понятие фундаментальной и реализованной ниши. Пространственная структура биоценозов. Биогеоценоз.

В XXI веке в связи с колоссальным воздействием человека на биосферу, экология как наука изучает взаимодействие организмов между собой и окружающей средой на уровне видов, видовых популяций и биогеоценоза. Показатель сложности биологической системы заключается в её многообразии видов. Существование многочисленных видов растений и животных – непереносимое условие для выживания человека как вида.

Сегодня исследования экологии организмов и сообществ направлены на получение новых знаний о структуре и функциях живых систем на уровне организмов, популяций, сообществ и экосистем, на выявление факторов, механизмов и закономерностей их функционирования и динамики в связи с глобальными изменениями на Земле (включая изменение климата и антропогенное воздействие). Анализ этих процессов позволит понять и оценить влияние глобальных изменений на естественное биоразнообразие за счет угнетения аборигенных и вселения чужеродных видов из других климатических зон и более устойчивых к антропогенным воздействиям [5].

Изучая данный раздел, студенту необходимо обратить внимание на различие понятий сообщество и биоценоз, биогеоценоз и экосистема. Понимать, что любой биогеоценоз является экосистемой, но не всякая экосистема есть биогеоценоз.

Сообщество – система популяций видов, конкурирующих между собой и формирующих экологические ниши. Основная функция сообщества заключается в обеспечении равновесия в экосистеме на основе замкнутого круговорота веществ.

Биоценоз (греч. *bios* – жизнь, *koinos* – общий) – только живое население. Биоценоз функционирует в определённых условиях среды и на определённом пространстве (биотоп).

Биотоп (греч. *bios* – жизнь, *topos* – место) – естественное жизненное пространство (абиотическая среда), которое занимает определённый биоценоз.

В состав биоценозов могут входить тысячи видов различных организмов. Но не все они одинаково значимы. Удаление из сообщества некоторых из них не оказывает на них заметного влияния, в то время как изъятие других ведёт к существенным изменениям. Виды могут по-разному распределяться в пространстве в соответствии с их потребностями и условиями местообитания. Такое распределение видов, составляющих биоценоз, в пространстве называется **пространственной структурой биоценоза**. Различают его вертикальную и горизонтальную структуры. Студенту необходимо привести примеры.

Совокупность биотопов и биоценозов называется **биогеоценозом**. Биогеоценоз является элементарной первичной структурной единицей биосферы. Состав биогеоценоза: популяции разных видов; факторы среды; пространство с комплексом условий среды обитания. Основные функции биогеоценоза следующие: биологический круговорот веществ и поток энергии, поддерживающие жизнь; динамическое равновесие между населением и абиотической средой; обеспечение живого населения условиями обитания и ресурсами. Динамическое равновесие следует рассматривать как изменение функциональных параметров во времени.

Сегодня большое значение имеет изучение еще малоисследованных групп организмов, сообществ и биоценозов. Эти работы необходимы для создания новых биологических коллекций и разработки новых биотехнологий для сельского, лесного и рыбного хозяйства, фармацевтики, сохранения окружающей среды и др. [5].

В связи с глобальными климатическими изменениями особое значение будут иметь исследования, нацеленные на охрану окружающей среды и снижение антропогенной нагрузки на экосистемы.

Экосистема – целостное образование, являющееся частью геосистемы и представляющее собой совокупность совместно обитающих организмов, сред и условий (в том числе и абиотических) их существования, находящихся во взаимодействии друг с другом и связанных между собой обменом веществ и энергией.

Экосистемы можно разделить на:

– **микрoэкоcистемы** могут существовать в местах, которые точно определяются критическими факторами окружающей среды в небольших пространствах (подушка лишайника, камень и всё живое под ним, прибрежные заросли водных растений и т.д.). К таким факторам могут относиться температура, рН, химическая среда, снабжение питательными веществами и т. д.;

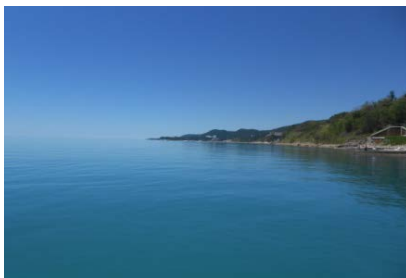


– **мезоэкоcистемы** состоят из связи микрoэкоcистем и являются однородной или относительно однородной системой в отношении её абиотических условий (температура, рельеф, тип почвы и ее питательные вещества), а также форм жизни первичных и вторичных продуцентов (пруд, дубовая роща, пшеничное поле др.);



– **макроэкосистемы**

мают большие площади земной поверхности, в них можно встретить большое разнообразие видов растений и животных (океан, море, континент). Изменения в макроэкосистемах происходят не так быстро и обнаруживаются в различных абиотических условиях;



– **глобальная экосистема** – биосфера Земли.

Студенту необходимо уметь подразделять их на наземные и водные экосистемы, дать им характеристику и знать закономерность их географического распространения. Уяснить, что устойчивость экосистемы тем больше, чем больше она по размеру, и чем богаче и разнообразнее ее видовой и популяционный состав.

Для понимания процессов превращения энергии в экосистеме полезны первый и второй законы термодинамики. Студенту необходимо объяснить: переход энергии из одной формы в другую согласно первому закону термодинамики; возрастание энтропии в системе согласно второму закону термодинамики. Знать, что, термин энтропия (от греч. *entropia* – поворот, превращение) используется и как мера изменения упорядоченности, которая происходит при деградации энергии. Понимать, что необходимость возрастания энтропии внешней среды означает её деградацию. Деградация означает постепенное ухудшение, снижение или утрату положительных качеств. Именно деградированные в процессе функционирования экосистем энергия и масса являются главными объективными причинами и источником загрязнения окружающей среды. К субъективным причинам, усиливающие загрязнения и деградацию окружающей среды, относятся: нерациональное использование пищевых и природных ресурсов; отходы, которые загрязняют почву, воду и воздух; выброс в биосферу излишков тепла. В

открытых системах одновременно с деградацией энергии до форм, которые трудно использовать, происходит деградация вещества, загрязняющая биосферу [8].

Все разнообразие проявления жизни сопровождается превращением энергии без ее возникновения или исчезновения. Студенту следует проанализировать закономерности трансформации энергии, общие для живой и неживой природы. Понять, как в экосистеме реализуются первый и второй законы термодинамики на примере химических реакций неорганических веществ.

Для поддержания круговорота веществ в экосистеме необходимо наличие запаса неорганических веществ в усвояемой форме и трех функционально различных экологических групп организмов: продуцентов (автотрофы), консументов (гетеротрофы) и редуцентов.

Редуценты живут за счет мертвого органического вещества, переводя его вновь в неорганические соединения. Автотрофы – производители органического вещества. Гетеротрофы – потребители и разрушители органического вещества. Гетеротрофный организм использует для питания только органические вещества, произведённые другими видами. Появление гетеротрофных микроорганизмов означало включение внутренних факторов, регулирующих углеродный баланс путём круговорота, что сопровождалось резким повышением стабильности биосферы на начальной стадии её развития. Студенту рекомендуется ознакомиться с многообразием биологических видов. Биологическое разнообразие отвечает за равновесное состояние естественной экосистемы, а, следовательно, за ее устойчивость. В искусственных экосистемах (сады, зоопарки, аквариумы, огород, теплица и т. п.) очень низкое биоразнообразие, простые пищевые цепи и незначительный круговорот питательных веществ. Основные ресурсы и усилия для поддержания искусственной экосистемы обеспечиваются людьми, поэтому они неустойчивы во времени.

Устойчивость – это свойство экосистемы, которое проявляется в поддержании своего состава, структуры и функций, а также в способности восстанавливаться в случае, если они будут нарушены. Основные типы деградации природной среды: асфальтирование, застройка продуктивных земель, пролив нефти в водоём и т.п. Человек лишает другие виды мест обитания, разрушает экосистемы.

Для наиболее полной реализации круговоротов биогенных элементов (основные – O, C, H, N, P, S, а также макро- и микро-элементы) все организмы в биосфере характеризуются определенной экологической нишей, в пределах которой объект, вид, сообщества выполняют определенную задачу по реализации круговоротов биогенов, т.е. для поддержания их стабильных концентраций, а тем самым и по стабилизации окружающей среды в целом [9]. Небольшое отклонение в состоянии окружающей среды должно компенсироваться жизнедеятельностью биоты. Контроль биогенных элементов биотой осуществляется через фотосинтез органического вещества из неорганического и последующим разложением органического вещества после отмирания на неорганические компоненты. При условии стабильной биосферы скорость синтеза органических веществ должна совпадать со скоростью их деструкции редуцентами (бактерии и грибы). Для сохранения устойчивости биосферы человеку необходимо придерживаться использования ресурсов и избавления от отходов без нарушения циклического круговорота биогенных элементов.

Каждый биологический вид занимает своё положение в экосистеме, согласно иерархии и выполняет определённые функции, обеспечивающие стабильность её позиций, а также стабильность биоценоза и экосистемы в целом. Это положение называется **экологической нишей**.

Ниша – это многомерное пространство, представленное суммой факторов существования данного вида. Пределы требований вида установлены по каждому отдельному фактору. Если требования вида, определяемые сочетанием условий и ресурсов, позволяющим виду поддерживать жизнеспособную популяцию соответствуют по каждому фактору, то это **фундаментальная ниша**. Реальное положение вида в экосистеме, свойства которой обусловлены конкурирующими видами, называется **реализованной нишей**.

Критический фактор – фактор, воздействие которого на биологическую систему приводит к угнетению жизнедеятельности организма (популяции).

Студенту необходимо составить индивидуальную схему, отображающую зоны его жизнедеятельности по диапазонам устойчивости к различным факторам внешней среды. Установить критический фактор. Определить зону пессимума. Найти решение к переходу в зону соответствующей требованиям биологического вида.

2. БИОСФЕРА И ЧЕЛОВЕК

Биосфера. Составляющие биосферы. Человек и биосфера. Пределы устойчивости. Глобальные проблемы биосферы. Ноосфера.

Биосфера является одним из основных структурных компонентов нашей планеты и околоземного космического пространства (рис. 2).

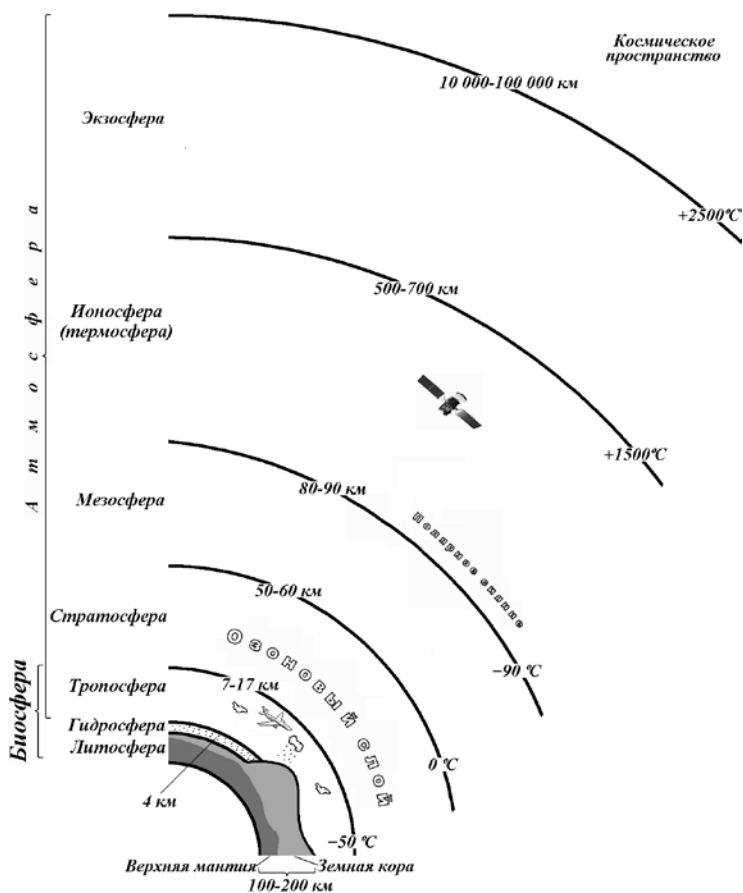


Рисунок 2 – Основные составляющие атмосферы и биосферы

Биосфера – система высшего порядка. На этом уровне происходят круговорот веществ и превращение энергии. Понимание химических взаимосвязей планетарного комплекса, включающих землю, море, атмосферу и биосферу, позволит эффективно поддерживать сложный экологический баланс и жизнеспособность биосферы нашей планеты [5].

Биосфера – глобальная открытая система, в которой живое существо играет ведущую роль. Биосферу характеризуют объемом биомассы, количеством углерода и связанной в биомассе энергии, годичным приростом и количеством минеральных веществ, заключённых в биомассе. В общей массе живого вещества в биосфере на долю человека приходится всего около 0,0002%. Обновление живого вещества биосферы осуществляется в среднем за 8 лет. В океане этот процесс повторяется каждые 33 дня. Фитомасса погибает и возрождается ежедневно. На суше долгоживущие растения способствуют тому, что процесс обновления происходит примерно за 14 лет. Отметим, что такие сроки в геологическом масштабе времени настолько малы, что становится неудивительным огромное влияние живого вещества на неживые оболочки Земли. Жизнедеятельность растений, животных, микроорганизмов сопровождается непрерывным прижизненным и посмертным обменом веществ между организмами и средой. Это означает, что живые организмы своим дыханием, питанием, метаболизмом, непрерывной сменой поколений порождают миграцию химических элементов в биосфере. Это приводит нас к выводу: все химические элементы земной коры многократно использовались. Принцип стабильности вещества утверждает, что каждая подсистема в биосфере эволюционирует согласно термодинамической тенденции поиска минимума свободной энергии в процессе каждого эволюционного цикла.

Биосфера и человек относятся к сложным биологическим системам. Используя рисунки 1 и 2, студенту надо уметь применять понятие система к понятиям биосфера и человек.

Один из критериев прогрессивной эволюции – рост удельной свободной энергии в росте на единицу объёма или массы системы. Это означает, что у неё увеличивается работоспособность и запас устойчивости, повышается способность к саморегуляции при изменяющихся (в том числе непредвиденно) условиях среды. К эволюционирующим относятся открытые системы, в которых за счёт подвода энергии протекают взаимосвязанные процессы, поддерживающие устойчивое развитие в данной среде. Именно это наблюдается в биосфере.

Устойчивость биосферы определяется: исключительным разнообразием живого вещества; взаимозаменяемостью составляющих ее экосистем; дублированием звеньев биогеохимических циклов; жизненной активностью живого вещества.

Студенту необходимо уметь анализировать основные принципы устойчивого функционирования естественных экосистем с точки зрения экологии и термодинамики. Следует ознакомиться с понятием «открытая система», которое ввел Л. фон Бергаланфи (1901–1972). Основные отличительные черты открытых систем – способность обмениваться со средой веществом (массой), энергией и информацией. Следует обратиться к фундаментальному закону природы: «закон сохранения вещества и энергии», открытый в 1748 году М.В. Ломоносовым (1711–1765).

Современный человек – представитель домена ядерные (эукариоты), царства животные, подцарства настоящие многоклеточные, типа хордовые, подтипа позвоночные, класса млекопитающие, подкласса звери, отряда приматов, подотряда сухоносые, семейства гоминиды, подсемейства люди, рода человек, вида человек разумный (*Homo sapiens*).

Основные функции человека – активное биогеохимическое участие человека во всех процессах биосферы. Человек характеризуется широкими способностями к адаптации. Адаптационные возможности организма человека определяются не только психо-

физиологическими, но и природными, социальными, техническими, информационными условиями внешней среды (рис. 1) и факторами окружающей среды, прямо или косвенно воздействующими на его жизнь и деятельность. В реальных условиях происходит сочетанное воздействие основных факторов: химического загрязнения воздуха, воды, почвы и комплекса физических факторов (шум, вибрация, электромагнитные поля и др.). Информационная среда для человека значительно усложнена по сравнению с животными.

Изучая тему, следует обратить внимание на возможности адаптации человека к экстремальным ситуациям, связанным с питанием и энергетическим обменом, климатическую адаптацию. Также привести примеры, когда искусственно создаваемые человеком физические, химические и биологические факторы близки к порогу переносимости или выходят за допустимые значения. Уметь применять понятия: «критический фактор» и «толерантность». Обратившись к вопросу «Человек и биосфера» рассмотреть роль и место человека в биосфере. Ознакомиться с современными представлениями о причинах и особенностях глобального экологического (термодинамического) кризиса.

Биосфера и человек как две сложные системы пришли к противоречию с ограниченными ресурсовоспроизводящими и жизнеобеспечивающими возможностями биосферы. Происходит истощение естественных ресурсов суши и океана, безвозвратная потеря видов растений и животных, глобальное загрязнение окружающей среды, упрощение и деградация экосистем.

Биосфера Земли все больше становится управляемой человеческим разумом, постепенно превращаясь в ноосферу. Термин «ноосфера» предложен в 1927 году французским философом Эдуардом Леруа (1870–1954).

В.И. Вернадский считал, что человечество живую оболочку планеты, превратит в единую сферу – ноосферу (сфера разума).

Это новое понятие Вернадский сформулировал в 1944 году. Он констатировал: «начинается новая эпоха – биосфера переходит в иное эволюционное состояние – ноосферу». Его слова и сейчас актуальны: «В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это, и не будет употреблять свой разум и свой труд на самоистребление».

Ноосфера как открытая система обменивается веществом и энергией с окружающей средой. Однако её источник и приёмник имеет ограниченную ёмкость, так как нельзя бесконечно ни «черпать» из первого, ни «загрязнять» второй. Этим существенно сдерживается развитие. Когда прогресс ноосферы происходит преимущественно на основе роста материального богатства индивидов, мы имеем дело с неэкологическим развитием – экстенсивным или интенсивным. При экстенсивном развитии материальное богатство растёт за счёт увеличения используемой энергии без соответствующего изменения КПД общественного производства, а при интенсивном – за счёт уменьшения приведенных энергетических затрат на единицу общественного продукта, т.е. роста КПД. Однако у ноосферы существует определённый предел роста энергетики: ограничение на вызываемое загрязнение окружающей среды. В современную эпоху об этом свидетельствует возникновение глобальных экологических катастроф (Чернобыль (1986), Мексиканский залив (2010), Фукусима (2011), Амазонка (2019)). Происходит постепенное истощение ресурсов, что ставит предел росту материального богатства.

Сегодня удельная энергоёмкость хозяйственной деятельности продолжает снижаться, хотя общее энергопотребление растёт. В условиях растущей конкуренции за энергетические ресурсы и уменьшения глобальной ресурсной базы актуальным будет развитие «зеленой» энергетики на основе возобновляемой дешевой энергии с новыми способами ее производства, хранения и транспортировки [5]. Современные способы производства и использо-

вания энергии, основанные на потреблении конечных ресурсов и природных ископаемых планеты, создают экологическое давление на окружающую среду и человечество.

Мировое сообщество ищет пути устойчивого развития общества и природы. Ясно, что структура социума и уровень энергопотребления должны соответствовать друг другу. Скорость социально-экономической структуры конечна, поэтому при опережающем росте потребления энергии развитие энергетики начинает замедляться. Это приводит к неблагоприятному для эволюции несоответствию. Это не означает прекращение экономического роста вообще. На первом этапе это прекращение нерационального использования природных ресурсов. Можно ли это осуществить в мире растущей конкуренции, роста показателей успешной экономической деятельности как производительность и прибыль. В XXI веке появилось понятие «цифровое общество». Переход к экономике нематериальных потоков финансов, информации, изображений, сообщений, интеллектуальной собственности к «дематериализации» хозяйственной деятельности. Новую цифровую экономику двигают не только дефицит материальных и природных ресурсов, но во всё большей степени изобилие ресурсов информации и систематизированных междисциплинарного и трансдисциплинарного комплекса знаний. Трансдисциплинарность означает становление нового типа мышления – мышления экологического, системного, что обусловлено коммуникативной природой. На первый план вышли NBICS-технологии, которые становятся силой, способной коренным образом изменить природу человека и его жизнедеятельность. Технологическая (цифровая) конвергенция направлена на поиск научного решения глобальных проблем биосферы Земли и Цивилизации. По существу, ядром цифровой конвергенции является идея глобальной «зелёной экономики» [10] с переходом от природоразрушающих технологий к природоподобным. Конвергентные технологии соотносят с ноосферным проектом В. И. Вернадского.

Развитие цифровых технологий в России открывает огромный спектр возможностей для решения экологических проблем – от создания сервисов по эффективному управлению отходами, систем мониторинга и сбора данных, наблюдений за климатическими изменениями, до создания систем, помогающих предотвратить экологические нарушения и предсказать природные катастрофы [11]. Студенту необходимо ознакомиться с национальным проектом «Экология» по направлениям: «Отходы», «Вода», «Воздух», «Биоразнообразие», «Технологии».

3. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Общие проблемы природопользования и антропогенного преобразования биосферы. Разрушение озонового слоя Земли. Кислотные осадки. Проблемы и особенности воздействия авиации и космонавтики на окружающую среду.

Родоначальниками термина «**природопользование**» стали ученые биологи, впервые употребившие его в научных дискуссиях в конце 1950-х годов. Под природопользованием понимается совокупность всех форм воздействия общества на природную среду и мер по ее сохранению. К таким мерам относится изучение, выявление запасов, использование, охрана и воспроизводство природных ресурсов. Глобальная проблема природопользования состоит в истощении природной среды в результате нерационального природопользования, загрязнения ее твёрдыми, жидкими и газообразными отходами.

Глобальная проблема антропогенного преобразования биосферы в том, что объекты техносферы постепенно стали вытеснять объекты природы.

Техносфера – некоторая интегральная совокупность актов трудовой деятельности человека, в рамках которых происходит развитие всех реальных процессов, протекающих в биосфере.

Осваивая тему студенту необходимо разобраться, по каким основным направлениям совершается антропогенное воздействие на биосферу. При этом изучение темы ориентировать на рассмотрение результатов воздействия на атмосферу (рис. 2). Знать, что интенсивное антропогенное воздействие на биосферу оказывают: производство транспортных средств и других необходимых технических устройств, добыча и переработка ископаемого топлива, а также объекты инфраструктуры для радиотехнического обеспечения полетов и электросвязи, для обслуживания пассажиров, для

утилизации разнообразных отходов, включая списанную технику и многое другое.

Студенту рекомендуется рассмотреть особенности загрязнения биосферы с изучения статистических данных об объёмах воздействия на компоненты окружающей среды, оказываемого различными видами транспорта. В настоящее время в авиации нормы предельно допустимых выбросов (ПДВ) устанавливаются на четыре загрязняющие вещества [12]: твёрдые частицы сажи, несгоревшие углеводороды (C_xH_y), окись углерода (CO) и оксиды азота (NO_x).

Двигатель порождает большое количество веществ, способных в течение длительного времени (сутки, месяцы, годы) взаимодействовать с газами атмосферы. Азот горит в авиационном двигателе так же, как и в автомобильном. При этом происходят как реакции (рис. 3), уничтожающие озон (O_3), так и реакции, производящие его. В струе могут возникать вещества, которых нет ни на срезе сопла, ни в атмосфере. С развитием авиационного и космического мониторинга интерес представляют рассеивающие свойства следа, с ярко выраженным содержанием аэрозолей.

Присутствие небольших количеств оксида углерода, оксидов азота, аммиака, водорода и метана в воздухе объясняется существованием свободного озона в верхних слоях атмосферы, а также процессами гниения и разложения или атмосферными явлениями (диоксид азота). Все другие соединения (твёрдые, жидкие и газообразные вещества, изменяющие естественный состав атмосферы) и попадающие в атмосферный воздух из различных источников (в основном антропогенного происхождения), классифицируются как загрязнители [13]. Все виды загрязнителей можно разделить по их природе: химические, физические, биологические и информационные. По масштабам воздействия загрязнения носят локальный, региональный и глобальный характер.

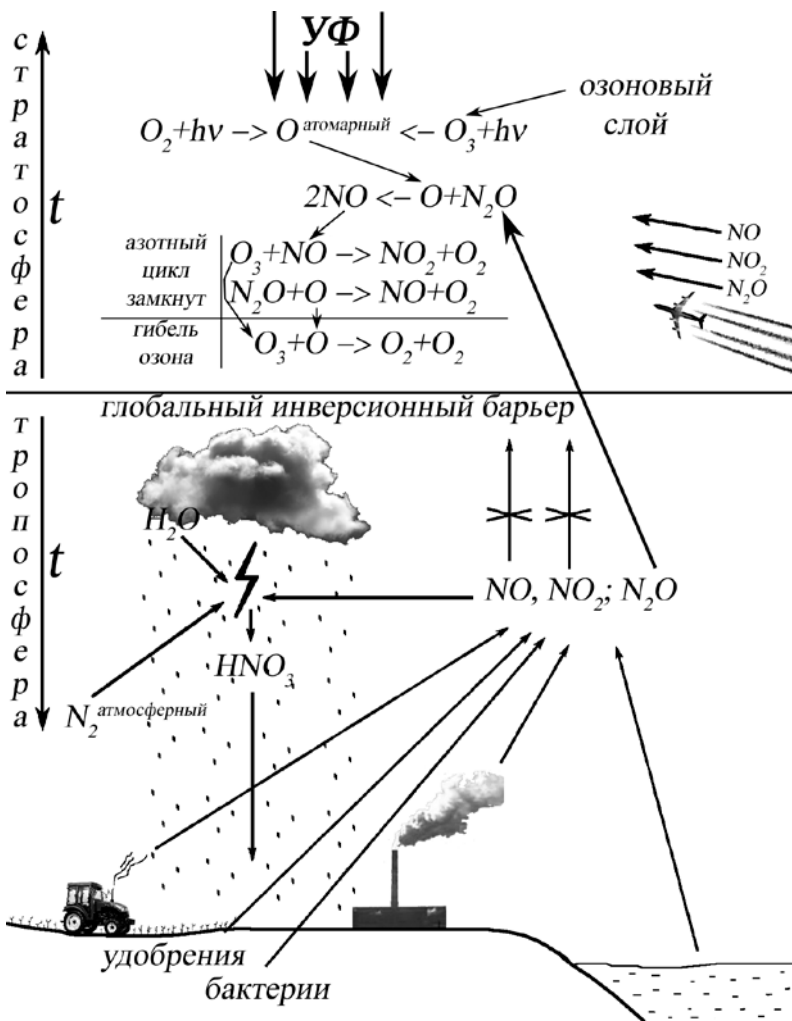


Рисунок 3 – Круговорот азота в биосфере

Виды глобальных экологических проблем, на которые значительное влияние оказывает мировая транспортная система: глобальное потепление; загрязнение воздуха, почвы и воды; разрушение озонового слоя; кислотные осадки.

3.1. Разрушение озонового слоя

Озоновый слой может разрушаться под воздействием оксидов азота (NO_x), гидроксильных групп (OH), атомов хлора (Cl) и брома (Br). В настоящее время оксид азота (N_2O) является одним из самых озоноразрушающих веществ, выбрасываемым в атмосферу в результате деятельности человека [14]. Это связано с ростом его эмиссии от антропогенных источников и длительным временем существования в атмосфере (около 120 лет).

Определенный вклад в разрушение озона в верхних слоях тропосферы и в стратосфере вносит авиационная и космическая техника, отработавшие газы двигателей которой содержат компоненты, взаимодействующие с озоном (рис. 3). Эта проблема транснациональна и всегда имеет адрес возникновения, причину появления во вполне конкретном месте. Тревога за судьбу стратосферного озона поднималась в 1970 году в связи с полётами сверхзвуковых летательных аппаратов, которые выбрасывали оксиды азота выше глобального инверсионного барьера. Кроме самолётов, источником этих соединений может быть естественный процесс жизнедеятельности азотфиксирующих бактерий. Кроме того, оксиды азота являются продуктами метаболизма азотсодержащих удобрений. В результате разложения вносимых в почву азотных удобрений происходит эмиссия в атмосферу оксидов азота (NO_x), которые взаимодействуют с атмосферным озоном, превращая его в кислород.

Около 90% озона концентрируется в стратосфере на высоте от 20 до 40 км (толщина варьируется сезонно и географически). Озоновый слой поглощает 97–99% жесткого и среднего ультрафиолетового излучения, поступающего от Солнца. Ультрафиолет изменяет реакцию и иммунологическую составляющую системы человека и животных. Поэтому озон является охранным щитом Земли, задерживая излучение, опасное для всего живого. Максимальная

концентрация озона наблюдается весной в средних и высоких широтах северного полушария и может достигать 500–600 ДЕ.² Средняя глобальная концентрация озона – 300 ДЕ; средняя концентрация в озоновых дырах – около 100 ДЕ.

Естественные и антропогенные процессы в приземном слое вносят большой вклад в процесс разрушения озона. Но при оценке экологических рисков следует учитывать, что авиационная и космическая техника может влиять непосредственно на стратосферный озон.

Целесообразно подчеркнуть уязвимость и более высоких слоев атмосферы. Например, возможно значительное снижение концентрации ионов после прохождения ракеты через термосферу (образование «ионосферных дыр»).

При запуске ракет в атмосферный газ выбрасывается большое количество молекул воды, они разрушают озоновый слой, а в ионосфере (термосфера) образуются дыры диаметром в *сотни* километров. Так как воды на больших высотах нет, то даже сам факт её появления в ионосфере, становится фактом загрязнения природной среды и нарушением естественного равновесия.

Эволюция следа РН происходит под влиянием атмосферной циркуляции и химических реакций между продуктами сгорания и воздухом. Основными загрязняющими веществами в продуктах сгорания являются *оксид углерода* и *оксид азота*, каждая из которых составляет примерно 1% от массы продуктов сгорания.

Озон разрушается под воздействием водяных паров, метана (СН₄), оксидов азота, содержащихся в продуктах сгорания ракетных топлив, если твёрдые топлива – хлор с его соединениями, и вследствие других процессов.

² ДЕ – единицы Добсона, используются для описания общего содержания озона в атмосферном столбе – число молекул озона, необходимых для создания слоя чистого озона толщиной 0,01 мм при нормальном давлении и температуре.

В изделиях ракетно-космической техники (РКТ), кроме случаев, обоснованных разработчиком, не должны использоваться устройства и эксплуатационные технологии, применение которых сопровождается выбросом веществ, способствующих разрушению озонового слоя атмосферы Земли. В агрегатах и системах изделий РКТ должны использоваться вещества с пониженной озоноразрушающей активностью.

Контроль содержания озона в атмосфере осуществляется:

- в допусковой период;
- на подтрассовых участках по траектории выведения космического аппарата и над территорией района падения первой ступени ракеты-носителя (РН).

Измерения общего содержания озона проводятся в два этапа:

- после пуска РН, с регулярностью озонметрических наблюдений в течение первого часа после вхождения Солнца в зенит один раз в 15 минут, в оставшееся светлое время суток этого же дня – один раз в час;
- в течение одного светового дня до пуска РН, в соответствии с сезонным расписанием наблюдений за общим содержанием озона.

Озонметрические измерения сопровождаются наблюдениями за метеорологической ситуацией (температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением, облачностью и атмосферными явлениями).

В настоящее время используются геоинформационные технологии для визуализации возможных последствий воздействия эксплуатации ракетно-космического комплекса на окружающую среду в штатных или в аварийных ситуациях, а также для поддержки вырабатываемых управленческих решений по обеспечению безопасности ракетно-космической деятельности.

Основная особенность геоинформационных систем – наличие цифровых карт, дающих необходимую информацию о земной поверхности, которые обеспечивают:

- точную привязку, систематизацию, отбор и интеграцию всей поступающей и хранимой информации (единое адресное пространство);
- комплексность и наглядность информации для принятия решений;
- возможность динамического моделирования процессов и явлений;
- возможность автоматизированного решения задач, связанных с анализом особенностей территории;
- возможность оперативного анализа ситуации в экстренных случаях.

На стартовых комплексах должны быть предусмотрены средства сбора и утилизации хлорфторуглеродов. Аккумулируясь в верхних слоях атмосферы, они фотолитически разлагаются с образованием оксидов хлора, которые взаимодействуют с озоном, уменьшая его концентрацию в стратосфере.

При полете РН в озоном слое возникает «окно». С развитием космотуризма количество окон может вырасти.

3.2. Кислотные осадки

Подразумевается химический состав осадков, выпадающих из атмосферы. Кислотным дождь считается при водородном показателе $pH \leq 4,3$, а нормальным при pH от 5,0 до 5,6. В настоящее время зафиксированы показатели кислотности осадков в Западной Европе и Китае на уровне 2,2–2,3. Для сравнения pH лимонного сока 2,3. Известны примеры выпадения осадков, соответствовавших по кислотности яблочному (3,3–3,9) и томатному соку (4,1–4,6). Кислотными дождями принято именовать любые виды

осадков, включая туман, град и снег, водородный показатель которых ниже показателя нормального дождя.

Причина выпадения кислотных дождей – попадание в атмосферу загрязняющих выбросов, как природного, так и антропогенного происхождения. Прежде всего, это выбросы в атмосферу без очистки газов после сжигания углеводородного топлива, отходящих газов металлургических производств и производств минеральных удобрений. Воздушные суда, осуществляют выброс отработавших газов авиадвигателей в приземных слоях атмосферы и на высотах: 8–12 км (дозвуковые) или 20–30 км (сверхзвуковые).

Экология тесно связана с междисциплинарными проблемами в вопросах рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Оптимальный путь решения общих глобальных проблем – использование системного анализа, как методологии для изучения, описания различных технических систем и технологий в подготовке и обосновании принимаемых решений. Итогом анализа является обобщённая модель, отображающая все факторы и взаимосвязи реальной экологической ситуации, которые могут проявиться в процессе осуществления решения.

Студент должен владеть методами и приёмами оценки экологической ситуации и антропогенного воздействия авиа- и ракетно-космической техники, автомобильного транспорта, объектов энергетики на биосферу при нарушении экологического законодательства.

4. ЭКОЗАЩИТНЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Экозащитная техника и технологии защиты окружающей среды. Цифровые технологические решения, уменьшающие воздействие на окружающую среду.

С применением экозащитной техники и технологии подразумевается дальнейшее развитие цифровых технологий и производственных процессов, при одновременном резком сокращении вредных выбросов, а также удельного расхода ресурсов и энергии на единицу продукции. Разработка и внедрение экозащитных технологий предусматривает снижение экологической опасности производственных процессов. Цифровизация в экологии – это, прежде всего, системный подход к принятию решений. Очень важным элементом цифровизации является объектный мониторинг состояния окружающей среды.

Основные цифровые технологии в процессе цифровизации экологии, перечислены в Распоряжении Правительства РФ от 8 декабря 2021 г. № 3496-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования» [15], ими стали:

- искусственный интеллект (ИИ) для анализа информации мониторинга, прогнозирования опасных метеорологических явлений, пожарной опасности в лесах, автоматизации принятия решений в режиме реального времени, детекции и идентификации объектов животного и растительного мира в сложной окружающей среде;

- дистанционное зондирование Земли и беспилотные летательные аппараты для обследования, планирования эффективного использования и воспроизводства, охраны природных ресурсов, охраны окружающей среды и контроля над изменением климата;

- технология интернет вещей (IoT) — качественно более эффективный сбор и передача данных (Росгидромет);

– большие данные (*BigData*) — накопление, хранение, анализ и обработка данных в создаваемых федеральных государственных информационных системах и цифровых платформах;

– цифровой двойник (*Digital Twin*) — создание базы данных нового поколения природных объектов (экосистем), включая недра, водные объекты, леса, среду обитания объектов животного мира.

Благодаря IoT все цифровые устройства подключены к Интернету, что позволяет мгновенно доставлять и обрабатывать огромное количество данных. Это открывает возможности для управления различными ресурсами и предотвращения экологических нарушений. Эта технология будет применяться к обществу в целом с потенциально огромными выгодами для окружающей среды. Проблемы загрязнения будут эффективнее и быстрее устранены в *interconnected* городах. В Самарской области высокоинтернетизированное население, хорошо развита телекоммуникационная инфраструктура, создана благоприятная среда для внедрения цифровых сервисов.

Инновационные цифровые решения произведут революцию в транспортном секторе, и окажут положительное влияние на окружающую среду. Цифровизация позволяет более эффективно расходовать топливо транспортных средств. Цифровые инструменты моделирования транспортных систем позволяют создавать более экологичный транспорт, работающий на нетрадиционных видах топлива, регулировать уровень выбросов и управлять транспортным средством на протяжении всего жизненного цикла [16]. Становится возможным непрерывный мониторинг негативного воздействия транспорта на окружающую среду и управление объектами инфраструктуры в режиме реального времени. Увеличиваются срок и эффективность эксплуатации транспорта благодаря системам предиктивной аналитики, которые планируют ремонт и тех-

ническое обслуживание исходя из текущего состояния транспортного средства.

В основе цифровой трансформации промышленности лежат схожие концепции «Индустрия 4.0» (Industry 4.0) и «фабрики будущего», включая цифровые (digital), умные (smart) и виртуальные (virtual) фабрики [17]. Они предполагают цифровизацию всего жизненного цикла изделий (от концепт-идеи, проектирования, производства, эксплуатации, сервисного обслуживания и до утилизации), использование цифровых моделей (двойников) как новых проектируемых изделий, таких производственных процессов, а также распространение цифровых платформ. Указанные концепции опираются на целый спектр передовых технологий, в первую очередь, виртуального моделирования, Интернета вещей, робототехники, ИИ, больших данных, облачных вычислений, предиктивной аналитики, аддитивного производства и др.

При внедрении цифровых технологий, расчет экологического влияния с учетом утилизации позволит адекватно оценивать инвестиционные проекты. В перспективе человечеству необходимо научиться восстанавливать экосистемы, цифровизация и роботизация могут стать эффективным инструментом для этого.

Студенту рекомендуется рассмотреть, как цифровые технологии и искусственный интеллект поставлены на службу охране окружающей среды и защите климата. Также следует проанализировать краткосрочные и долгосрочные негативные последствия цифровых технологий для окружающей среды.

5. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПРАВА И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Экологическое право. Эколого-правовой механизм охраны окружающей среды. Экологическая ответственность.

Экологическое право – это составная часть правовой системы РФ, которая охватывает аспекты, обеспечивающие защиту окружающей среды.

В государственных стандартах на новую технику, технологии, материалы, вещества и другую продукцию, технологические процессы, хранение, транспортировку, использование такой продукции, в том числе после перехода её в категорию отходов производства и потребления, должны учитываться требования, нормы и правила в области охраны природной среды.

Согласно природоохранному законодательству РФ соблюдение экологических нормативов, которые определяют качество природной среды, обеспечивает:

- экологическую безопасность населения;
- сохранение генетического фонда человека, растений и животных;
- рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития.

Эффективность эколого-правового механизма зависит от многих факторов. Студенту необходимо знать наиболее важные из них. К ним относятся:

- экономическая (финансовая и материально-техническая) обеспеченность выполнения эколого-правовых норм. Отсутствие твердой экономической базы сводит на нет эффективность тех норм, применение которых требует капитальных вложений;
- эколого-правовая культура (знание закона, уважение закона, умение его правильно применять), формирующая правовое пове-

дение граждан и юридических лиц в области экологической безопасности.

Для повышения роли эколого-правового механизма в сфере эколого-правовых отношений и формирование профессиональной ответственности необходимо глубокое изучение природоохранных законов. Студенту следует разобраться в том, что понимается под природоохранными затратами и каким образом можно оценить инвестиции в эту социально значимую область.

Компенсационная материально-финансовая ответственность за нанесенный экологический вред называется экологической ответственностью. Это обязанность претерпевать неблагоприятные последствия нарушения норм экологического права. Основная задача экологической ответственности состоит в сборе стоимости экологического ущерба с субъекта ответственного за нанесение.

Студент должен уметь оценивать экологические последствия и величину ущерба, наносимый различными видами отрасли экономики окружающей среде, используя нормативно-правовые акты природоохранного законодательства. Выбор природоохранных мероприятий необходимо осуществлять в соответствии с будущей профессиональной деятельностью и с учётом экологической ответственности субъекта.

6. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Международное сотрудничество в области природопользования охраны окружающей среды регулируется международным экологическим правом. Международное сотрудничество является важнейшей составной частью национальной экологической политики РФ. Россия занимает 1/9 часть суши Земли и располагает природными ресурсами мирового значения (до 30%). Экосистемы (тайга в Сибири, озеро Байкал и др.) России вносят существенный вклад в стабилизацию состояния природной среды всей планеты.

Транспортный комплекс России, включающий в себя автомобильный, железнодорожный, воздушный, водный и трубопроводный виды транспорта, является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды. Его негативное воздействие проявляется в первую очередь в выбросах в атмосферу токсичных веществ с отработавшими газами транспортных двигателей и вредных веществ от стационарных источников, а также в загрязнении поверхностных водных объектов, образовании твердых отходов.

Из-за перемещения вредных веществ вместе с воздушными водными массами все это может оказывать негативное влияние на глобальную экологическую обстановку. С другой стороны, действия других стран могут затрагивать интересы России. То есть, экологические проблемы трансграничные. Поэтому важное место в международном сотрудничестве в области экологии и охраны природной среды принадлежит международным организациям, в первую очередь организации объединенных наций (ООН).

Благодаря международному сотрудничеству было подписано ряд конвенций, направленных на улучшение экологической обстановки. Наиболее важные из них, подписанные РФ:

– базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением (1989 год, 71 государств-участников). Устанавливает запрет на вывоз и ввоз опасных отходов, регламентирует и координирует действия правительственных организаций, промышленных предприятий и других учреждений.

– венская конвенция об охране озонового слоя (1985 год, 120 государств-участников). Предполагает сотрудничество для создания, внедрения и использования мер и технологий, позволяющих снизить неблагоприятные последствия в озоновом слое.

– конвенция ООН по морскому праву (Монтего Бей, 1982 год, 157 государств-участников). Конвенция о гражданской ответственности за ущерб загрязнения нефтью (1992 год, 130 государств-участников). Заключенные соглашения направлены на предотвращение и снижение загрязнений морской среды.

– конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (Женева, 1979 год, 33 государств-участников). Предполагает сотрудничество с целью сокращения негативного воздействия на атмосферу.

– рамочная конвенция ООН об изменении климата (Нью-Йорк, 1992 год, 59 государств-участников). Задача – защита системы формирования климата. Предусматривает разработку и реализацию программ по контролю за изменением климата.

– стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (2001 год, 170 государств-участников). Запрещает производство и ограничивает использование наиболее опасных органических соединений.

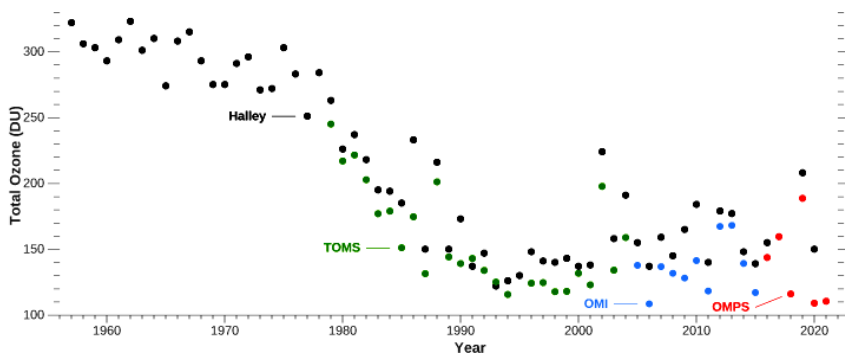


Рисунок 4 – Общее содержание озона в 1957–2021 гг. по данным разных инструментов [18]: Halley – приборы на земле; TOMS – спектрометр для картирования общего озона высоко над Антарктидой; OMI – прибор для мониторинга озона; OMPS – набор для картирования и профилирования озона.

Подписание, ратификация и надлежащее исполнение такого рода соглашений помогает в решении глобальных экологических проблем. Так, например, удалось снизить негативное влияние на озоновый слой. По данным ЮНЕП (программа ООН по защите окружающей среды) и ВМО (Всемирная Метеорологическая Организация) концентрация озонового слоя уменьшалась до конца XX века. В начале 2000-х концентрация озона оставалась практически неизменной, а сейчас озоновый слой находится на пути восстановления (рис. 4). Предполагается, что к 2050-му году количество озона будет на уровне 1980-го года.

7. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В «Основах государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года», утвержденных Президентом РФ 30.04.2012, отмечено, что в 40 субъектах России более 54% городского населения находится под воздействием высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха. Возрастает количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный оборот, а направляются на захоронение.

С целью охраны окружающей среды и здоровья населения в РФ ставятся вопросы защиты от загрязнения атмосферного воздуха (химический фактор) и различных физических факторов³ (шум, вибрация, электромагнитные волны, радиация и ионизирующее излучение). Для этого разработан комплекс правовых, нормативных, методических и иных документов, регламентирующих деятельность промышленных предприятий. Под промышленными предприятиями подразумеваются также объекты транспорта, связи, коммунального хозяйства, строительства и других отраслей, НИИ, КБ и опытные производства.

Основой регулирования качества атмосферного воздуха населённых мест и рабочей зоны являются гигиенические нормативы – *предельно допустимые концентрации (ПДК)* загрязняющих веществ, соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого или косвенного влияния на здоровье населения и условия его проживания.

³ Воздействие физических факторов на организм человека рассматривается в курсе «Безопасность жизнедеятельности».

7.1. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху населённых мест

ПДК загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных мест (в селитебных зонах) – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущие поколения, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни.

Нормативы установлены в виде максимальных разовых ПДК_{МР}, среднесуточных ПДК_{СС} и среднегодовых ПДК_{СГ} с указанием класса опасности и лимитирующего показателя вредности, который положен в основу установления норматива конкретного вещества.

Лимитирующий (определяющий) показатель вредности характеризует направленность биологического действия вещества: рефлекторное и резорбтивное.

Рефлекторное действие – реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей: ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т.п. Указанные эффекты возникают при кратковременном воздействии веществ (20-30 минут), поэтому *рефлекторное действие лежит в основе установления максимальных разовых ПДК_{МР}*.

Максимальная разовая предельно допустимая концентрация ПДК_{МР} – максимальная 20-30 минутная концентрация, при воздействии которой у человека не возникают рефлекторные реакции (задержка дыхания, изменение биопотенциалов коры головного мозга, ощущение запаха, раздражение слизистых и т.п.), а при регламентированной частоте повторных воздействий (не менее 99 % проб) не развиваются подострые эффекты неспецифического и специфического характера (увеличение обращаемости за медицинской помощью по поводу обострения заболеваний легких, сердца и т.п.).

Под резорбтивным действием понимают возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и от длительности ингаляции. *С целью предупреждения развития резорбтивного действия устанавливается среднесуточная ПДК_{СС}* (как максимальная 24-часовая и/или как средняя за длительный период – год и более). Предельно допустимая среднесуточная концентрация ПДК_{СС} – концентрация загрязнителя в воздухе, не оказывающая на человека прямого или косвенного воздействия при круглосуточном вдыхании.

Кроме того, *с целью предупреждения хронического действия используется среднегодовая ПДК_{СГ}* – концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии.

При отсутствии нормативов ПДК вместо них используются значения *ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ)*, для которых устанавливаются сроки их действия. Нормы концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для растительности и животного мира, утвержденные в установленном порядке, принимаются при расчетах только в случаях, когда они являются более жесткими, чем ПДК.

Нормативы ПДК должны соблюдаться в жилой зоне и на других территориях проживания. В местах массового отдыха населения, на территориях размещения лечебно-профилактических учреждений и других территорий с повышенными требованиями к охране атмосферного воздуха концентрация загрязняющих веществ не должна превышать 0,8ПДК.

Соблюдение для жилых (селитебных) территорий ПДК, а для зон массового отдыха 0,8-ПДК, обеспечивается с учетом суммации биологического действия веществ или продуктов их трансформа-

ции в атмосфере, а также загрязнения атмосферы за счет действующих, строящихся и намеченных к строительству объектов, являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха.

С целью защиты жилой зоны от воздействия загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу вместе с промышленными выбросами, требуется отделять предприятие *санитарно-защитной зоной (СЗЗ)* (рис. 5).

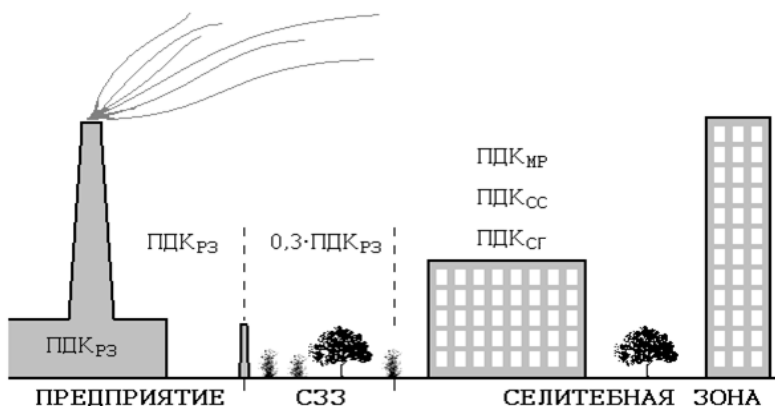


Рисунок 5 – Нормирование атмосферного воздуха на территориях промышленного предприятия, санитарно-защитной и селитебной зон

Санитарно-защитная зона – территория между границами промплощадки, складов открытого и закрытого хранения материалов и реагентов, предприятий сельского хозяйства, с учетом перспективы их расширения и селитебной застройкой, предназначенная для:

– обеспечения требуемых гигиенических норм содержания в приземном слое атмосферы загрязняющих веществ, уменьшения отрицательного влияния предприятий, транспортных коммуникаций, линий электропередач на окружающее население, факторов физического воздействия - шума, повышенного уровня вибрации, инфразвука, электромагнитных волн и статического электричества;

– создания архитектурно-эстетического барьера между промышленной и жилой застройкой при соответствующем ее благоустройстве;

– организации дополнительных озелененных площадей с целью усиления санитарно-гигиенических и микроклиматических функций зеленых насаждений.

Наряду с величинами ПДК обычно указывается класс опасности. **Класс опасности** вредных веществ – условная величина, предназначенная для упрощённой классификации потенциально опасных веществ. По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделены на четыре класса опасности: 1 – вещества чрезвычайно опасные; 2 – вещества высоко опасные; 3 – вещества умеренно опасные; 4 – вещества малоопасные.

Классы опасности веществ, для которых установлены только ПДК_{МР}, определены с учетом опасности развития рефлекторных реакций. Классы опасности веществ, для которых одновременно установлены ПДК_{МР} и ПДК_{СС}, определены с учетом опасности развития тех эффектов, развитие которых при действии конкретного вещества наиболее опасно. Классы опасности веществ, лимитированных резорбтивным действием, определены с учетом опасности развития этих эффектов.

7.2. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

Содержание загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать ПДК, используемых для контроля качества производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих. Содержание загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения предельно допустимых концентраций *рабочей зоны ПДК_{РЗ}*.

ПДК_{рз} – концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч и не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Воздействие вредного вещества на уровне ПДК_{рз} не исключает нарушение состояния здоровья у лиц с повышенной чувствительностью.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких загрязняющих веществ разнонаправленного действия остаются такими же, как и при изолированном воздействии. При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких загрязняющих веществ однонаправленного действия, сумма отношений фактических концентраций в воздухе каждого из них (C_1, C_2, \dots, C_n) к их ПДК (ПДК₁, ПДК₂, ..., ПДК_n) не должна превышать единицы:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1.$$

Схематичное представление нормативов ПДК вредных веществ в атмосфере для различных территорий представлено на рисунке 5.

7.3. Основные мероприятия, позволяющие обеспечить гигиенические нормативы

Для обеспечения ПДК в жилой и рабочей зонах следует выбирать рациональные, с технико-экономической точки зрения, мероприятия. Наиболее распространённые из них:

– рационализация производственного процесса (безотходное производство; вторичная переработка; возврат побочных продуктов в технологический процесс; использование материалов, оказы-

вающих меньшее негативное действие на здоровье человека при соответствии технологическим требованиям);

- выброс загрязняющих веществ из рабочей зоны в атмосферу (метод рассеивания выбросов: затраты на сам процесс, организацию СЗЗ и плата за природопользование) или их сброс в водоём;

- использование технических средств по сокращению выбросов (различные системы фильтрации: уменьшение платы за природопользование и организацию СЗЗ; затраты на приобретение и обслуживание фильтров, плата за размещение отходов на полигоне).

Принципы определения платы за природопользование и размещение отходов, примеры расчёта затрат на фильтрацию и экономии средств на организацию санитарно-защитной зоны рассматриваются на лабораторных работах и при выполнении контролируемой самостоятельной работы (КСР).

7.4. Норматив предельно допустимых выбросов при загрязнении атмосферы одиночным источником

Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу подразделяются на:

- естественные (пыль, дым от лесных пожаров, вулканический пепел) и антропогенные (выбросы промышленных предприятий и транспорта);

- стационарные (цех предприятия, свалка отходов) и нестационарные или передвижные (автомобильные, железнодорожные, воздушные, морские и речные транспортные средства);

- организованные (вещества поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы и трубы) и неорганизованные (утечки в результате разгерметизации оборудования);

- точечные (труба предприятия), линейные (автомагистраль) и площадные (базы пересыпки сыпучих материалов, группа низких труб);

– высокие (высота больше 50 м), средние (от 10 до 50 м), низкие (от 2 до 10 м) и наземные (до 2 м);

– незатененные (расположенные на открытых участках местности или на высоте, превышающей другие препятствия более чем в 2,5 раза) и затененные (расположенные в зоне ветровой тени зданий или других объектов);

Для каждого источника выброса загрязняющих веществ в атмосферу устанавливается норматив *предельно допустимого выброса (ПДВ)*. При этом выполнение норматива ПДВ для указанного источника с учетом действия остальных источников в зоне действия предприятия должно обеспечивать выполнение нормативов ПДК для населения, растительного и животного мира. ПДВ устанавливаются для условий полной нагрузки технологического и газоочистного оборудования и их нормальной работы. ПДВ не должны превышать в любой 20-минутный период времени.

7.5. Определение границ санитарно-защитной зоны предприятий

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) – это особая функциональная зона, отделяющая предприятие от селитебной зоны либо от иных зон функционального использования территории с нормативно закрепленными повышенными требованиями к качеству окружающей среды.

СЗЗ устанавливается в целях снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха, уровней шума и других факторов негативного воздействия до предельно допустимых значений на границе с селитебными территориями за счет обеспечения санитарных разрывов и озеленения территорий.

В СЗЗ не допускается размещать: жилую застройку, зоны отдыха, территории курортов, санаториев, застройки коттеджами, дачных и садово-огородных участков, спортивные сооружения,

детские площадки, образовательные и детские учреждения, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения общего пользования, объекты по производству лекарственных веществ, склады продовольственного сырья и пищевых продуктов.

Допускается размещать в границах СЗЗ: помещения для временного пребывания работающих, здания административного назначения, научно-исследовательские лаборатории, поликлиники, спортивно-оздоровительные сооружения закрытого типа, объекты торговли и общественного питания, гостиницы, гаражи, площадки для хранения транспорта, ЛЭП, нефте- и газопроводы, канализационные насосные станции, АЗС, станции технического обслуживания автомобилей и т.п.

Разработка проекта СЗЗ для предприятий I–III класса опасности является обязательной. В задачу предприятия может входить сокращение границ СЗЗ для экономии средств на её содержание и/или для возможности размещения жилой застройки.

Если ведущим фактором является химическое загрязнение атмосферного воздуха, размер СЗЗ для действующих объектов может быть уменьшен. Это возможно при:

- объективном доказательстве достижения уровня химического загрязнения атмосферного воздуха до значений ПДК каждого ингредиента на границе СЗЗ и за ее пределами;
- уменьшении мощности, изменении состава, перепрофилировании промышленных объектов и производств, и связанным с этим изменением класса опасности;
- внедрении передовых технологических решений, эффективных очистных сооружений, направленных на сокращение уровней воздействия на среду обитания.

Размер СЗЗ устанавливается от:

- границы промплощадки: при наличии источников загрязняющих веществ на открытых площадках; с источниками, рассе-

доточенными по территории наземных и низких источников; холодных выбросов средней высоты;

– источника выбросов загрязняющих веществ: при наличии средних или высоких источников нагретых выбросов.

7.6. Основные методы очистки воздуха от загрязняющих веществ

Перед промышленными предприятиями возникают технико-экономические задачи, связанные с экологическими аспектами, например:

– Необходимость увеличения ПДВ при повышении производительности предприятия. Однако, согласно действующим нормативам, увеличение высоты трубы для обеспечения рассеивания с целью соблюдения ПДК в приземном слое атмосферы допускается только после полного использования всех доступных на современном уровне технических средств по сокращению выбросов.

– Сокращение площади СЗЗ действующих предприятий для размещения жилой застройки. Размеры СЗЗ могут быть уменьшены при объективном доказательстве стабильного достижения уровней техногенного воздействия на окружающую среду и население в пределах нормативных требований.

– Уменьшение платы за сверхлимитные выбросы, которая устанавливается в случае превышения ПДВ.

Для решения перечисленных задач нередко применяются различные системы очистки газовой смеси, которые могут быть установлены в системах вентиляции, кондиционирования, воздушного отопления зданий, а также применены в качестве способа предварительной очистки при выбросе загрязняющих веществ в атмосферу. Наиболее распространенные способы очистки воздуха от загрязняющих веществ:

1. Механические фильтры грубой очистки. Представляют собой обычную мелкую сетку. Используются для очистки от крупных пылевых частиц. Не фильтруют газообразные и мелкодисперсные примеси.

2. Циклоны-осадители. Запылённому потоку придаётся вращательное движение, ограниченное цилиндрическими стенками. Под действием центробежной силы частицы ударяются об стенку циклона и соскальзывают в бункер под действием силы тяжести. Поэтому основное осаждение происходит в камере. Для частиц диаметром 10 мкм эффективность очистки может превышать 80 %. Получили большое распространение из-за высокой пропускной способности. Предназначены для сухого механического улавливания пыли. Не фильтруют газообразные примеси.



3. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха от аэрозолей подразделяют на три группы [19]:

– EPA фильтры (Efficient Particulate Air filter);

– HEPA фильтры (High Efficient Particulate Air filter);

– ULPA фильтры (Ultra Low Penetration Airfilter).



Они изготавливаются из специального пористого материала на основе стекловолокна. Способны задерживать мелкодисперсные частицы диаметром менее 1 мкм. Эффективность HEPA и ULPA выше 99%. По сравнению с циклонами сложнее обслуживание, ниже пропускная способность и выше эксплуатационные расходы. Не фильтруют газообразные примеси.

4. Ионизаторы или электростатические фильтры. Позволяют удалять из воздуха частицы вплоть до 0,01 мкм. Могут сами генерировать оксиды азота и озон (как правило, в пределах ПДК). Возможно накопление и размножение микрофлоры внутри устройства с последующим возвратом в воздушную среду помещения. Не освобождают от оксида углерода, оксидов азота, формальдегида и других газообразных примесей.

5. Адсорбционные фильтры. Используются для удаления, как правило, газообразных соединений. Наиболее распространённые адсорбенты – активированные угли и другие виды сажи. Их эффективность зависит от характеристик адсорбента и вида примеси. Даже незначительное увеличение молекулярной массы и предрасположенность к образованию водородных связей, может существенно повысить эффективность удерживания [20, 21]. Поэтому адсорбенты хорошо улавливают газообразные соединения с относительно большой молекулярной массой, но не адсорбируют при комнатной температуре легкие соединения, например, оксиды азота и формальдегид.



6. Абсорбционные фильтры. Аэрозоли и газообразные компоненты растворяются в жидкости (образуются жидкие отходы). Метод может быть применён для очистки от легких примесей (SO_2 , H_2S , NH_3), но при этом требует использования габаритного оборудования.

7. Ультрафиолетовые облучатели и фотокаталитические очистители воздуха инактивируют вирусы и бактерии. В присутствии катализатора эффективность процесса может быть значительно увеличена. В этом варианте метод применим для разложения других органических соединений, в том числе газообразных.



8. Биохимическое разложение веществ под действием ферментов, вырабатываемых микроорганизмами в среде очищаемых газов. Используются для очистки отходящих газов от H_2S , NH_3 , формальдегида и различных органических соединений (фенолов, крезолов, меркаптанов и др.). К недостаткам можно отнести низкую скорость биохимических реакций, что увеличивает габариты оборудования. Избирательность штаммов микроорганизмов затрудняет переработку многокомпонентных смесей.

9. Термическое дожигание. Превращение высокотоксичных загрязнителей в менее вредные соединения. Для большинства веществ температуры дожигания лежат в интервале 750–1200 °С. Метод эффективен при высоких концентрациях дожигаемых примесей. Как правило, необходимы высокие затраты энергии (топлива) для обеспечения высоких температур в зоне реакции.

10. Термокаталитическое превращение газообразных примесей. Применение твердых катализаторов позволяет снизить температуры дожигания до 200–600 °С. Возможна переработка многокомпонентных газов с малыми начальными концентрациями вредных примесей. Сложность использования метода связана с трудностью поиска и изготовления, пригодных для длительной эксплуатации и дешевых катализаторов.

11. Плазмохимический метод (озонирование). Воздушная смесь проходит через высоковольтный разряд, что приводит к образованию атомарного кислорода, озона и других нестабильных структур, которые окисляют вредные вещества. Возможно превращение SO_2 , NO_x и органических соединений в менее вредные соединения при низких температурах. При добавлении аммиака на выходе после реактора получают порошкообразные удобрения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и NH_4NO_3 . Возможно неполное разложение вредных веществ и присутствие остаточного озона.

Для снижения негативного действия многокомпонентных смесей нередко используются комбинированные системы очистки воздуха. Например, на выходе после НЕРА (удаление твёрдых частиц) можно установить каталитическую систему для очистки от лёгких газообразных примесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 26 марта 2022 года). – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/17718/page/2> (дата обращения 10.10.2022).

2. Альтшуллер Г. С. Дерзкие формулы творчества : Изобретательские задачи / Г. С. Альтшуллер // Дерзкие формулы творчества. – сост. Селюцкий А. Б. – Петрозаводск: Карелия, 1987. – 269 с.

3. Грибов Л. А. Теория и методы расчета молекулярных процессов: спектры, химические превращения и молекулярная логика / Л. А. Грибов, В. И. Баранов. – Москва : URSS, 2006. – 476 с. – ISBN: 5-484-00692-9.

4. Haeckel E. Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie. Bd. 2. Allgemeine entwicklungsgeschichte der organismen. / E. Haeckel / – Berlin, G. Reimer, 1866. – P. 286.

5. Распоряжение Правительства РФ от 31.12.2020 г. N 3684-р (ред. от 21.04.2022) «Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 – 2030 годы)». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202101090048> (дата обращения 10.10.2022).

6. Вилли К. Биология : Биологические процессы и законы / К. Вилли, В. Детье / – Москва : Мир, 1975. – 822 с.

7. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад / – Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 256 с.

8. Вернадский В. И. Биосфера : Избранные труды по биогеохимии / В. И. Вернадский; под ред. А.И. Перельмана – Москва : Мысль, 1967. – 376 с.

9. Одум Ю. Экология : в 2-х томах / Ю. Одум. – Москва: Мир, 1986. – Т1 – 328 с., Т2 – 376 с.

10. Лола И. С. «Зеленые» технологии в обрабатывающей промышленности: тренды greentech направлений в отраслях в 2020-2021 гг. / И. С. Лола, М. Б. Бакеев. – М.: НИУ ВШЭ, 2021. –14 с. – URL: https://www.hse.ru/data/2021/06/28/1428841874/Digital_industry_2Q2021.pdf (дата обращения 10.10.2022).

11. Цифровые технологии в экологии // Электронное пособие экологической направленности, выпуск № 3. – НП "Информационный Альянс «атомные города», 2020. – URL: https://eco.atomgoroda.ru/content/media_files/1601440763-52330.pdf (дата обращения 10.10.2022).

12. ГОСТ 17.2.2.04–86. Охрана природы. Атмосфера. Двигатели газотурбинные самолетов гражданской авиации. Нормы и методы определения выбросов загрязняющих веществ: государственный стандарт Союза ССР: дата введения 01.01.1987 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Изд. официальное. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 34 с.

13. Другов Ю. С. Мониторинг органических загрязнителей природной среды. 500 методик: практическое руководство / Ю. С. Другов, А. А. Родин. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 893 с. – ISBN: 978-5-94774-761-4.

14. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report // Switzerland, WMO (World Meteorological Organization), 2018. – No. 58. – 588 p. – URL: <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/SAP-2018-Assessment-report.pdf> (дата обращения 10.10.2022).

15. Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2021 г. N 3496-р "Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования". – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/File/GetFile/0001202112140019?type=pdf> (дата обращения 10.10.2022).

16. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. / Г. И. Абдрахманова, К. Б. Быховский, Н. Н. Веселитская и др. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. – 239 с. – ISBN 978-5-7598-2510-4 (в обл.). – ISBN 978-5-7598-2270-7 (e-book).

17. Технет НТИ. Фабрики будущего. – <https://technet-nti.ru/article/fabriki-buducshego> (дата обращения: 10.10.2022).

18. NASA Ozone Watch. History of the Ozone Hole. – URL: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history_SH.html.

19. ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, HEPA и ULPA. Часть 1. Классификация, методы испытаний, маркировка: дата введения 01.12.2011 / Росстандарт. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

20. Weak intramolecular and intermolecular hydrogen bonding of benzyl alcohol, 2-phenylethanol and 2-phenylethylamine in the adsorption on graphitized thermal carbon black / V.V. Varfolomeeva, A.V. Terentev // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2015. – ISSN 14639076. – N 17(37). – С. 24282–24293. – DOI 10.1039/c5cp04295j.

21. Слабые водородные связи при адсорбции нежестких молекул на графитированной термической саже / В. В. Варфоломеева, А. В. Терентьев // Журнал структурной химии. – 2017. – ISSN 0136-7463. – N 3. – С. 586–613. –DOI 10.15372/JSC20170318.

Учебное издание

*Варфоломеева Вера Васильевна
Терентьев Алексей Владимирович*

СОВРЕМЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Учебное пособие

Редакционно-издательская обработка
издательства Самарского университета

Подписано в печать 19.05.2023. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 4,25.

Тираж 27 экз. Заказ . Арт. – 19(Р1/УП)/2023

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

