

*А. Потемкин    Б.Ч. Месхи    Г.И. Квеситадзе*



# **ЭКОЛОГИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ:**

**НЕОБХОДИМОСТЬ ПЕРЕХОДА**

***HOMO SAPIENS***

**НА НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ**

*Доктор*

*Александр Потемкин*

Гамбург, Германия

*Профессор*

*Месхи Бесарион*

Ростов-на-Дону, Россия

*Профессор*

*Георги Квеситадзе*

Тбилиси, Грузия

## **ЭКОЛОГИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ:**

**необходимость перехода *Homo sapiens***

**на новый этап развития**



*Доктор*  
**Александр**  
**Потемкин**

Гамбург, Германия

*Профессор*  
**Месхи**  
**Бесарион**

Ростов-на-Дону, Россия

*Профессор*  
**Гиорги**  
**Квеситадзе**

Тбилиси, Грузия



# **ЭКОЛОГИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ:** **необходимость перехода *Homo sapiens*** **на новый этап развития**

**Научные ассистенты:**

**Ольга Кароза**

**Натали Сидамонидзе**

**PKO VALANDA**  
PUBLISHING HOUSE

2023

*Под редакцией:*  
доктор биологических наук, профессор,  
академик Национальной академии наук Грузии *Т. А. Садунишвили;*  
доктор технических наук, профессор,  
академик Национальной академии наук Грузии *Р. А. Хуродзе*

**Авторы монографии:**

- профессор, доктор экономических наук, **Александр Потемкин**, гражданин Германии, инвестор научных и коммерческих проектов, писатель, эколог, автор 13 интеллектуальных романов, более 30 монографий и ряда критических публикаций, автор первого глобального всемирного инфраструктурного проекта «Мегаинфрабан EuRISAA» – модели мирного будущего, Кодекса новых цивилизационных стандартов *Eco sapiens*.

- профессор, доктор технических наук **Бесарион Месхи**, гражданин России, член-корреспондент Российской академии образования, иностранный член Национальной академии наук Грузии, ректор Донского государственного технического университета. Автор более 320 научных работ, в том числе 37 монографий в области разработки высокоэффективных технологий обеспечения экологической, технологической, производственной безопасности и защиты окружающей среды.

- профессор, президент Национальной академии наук Грузии, **Гиорги Квеситадзе**, гражданин Грузии, более 30 лет работающий в области экологических наук: химии, микробиологии и биотехнологии. Автор более чем 150 публикаций по данной специальности. Автор монографии опубликованной издательством Springer, 2006, *Biochemical Mechanisms of Detoxification in Higher Plants*.

**ЭКОЛОГИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ: необходимость перехода *Homo sapiens* на новый этап развития.** Монография / А. Потемкин, Б. Месхи, Г. Квеситадзе; под редакцией Т.А. Садунишвили, Р.А. Хуродзе – Мариямполь, Литва : изд-во „Пико валанда“, 2023. – 204 с. – ISBN 978-609-422-208-5

В монографии впервые публикуется экологическая концепция глобального характера, призванная на ряд десятилетий отодвинуть экологическую катастрофу, связанную с непредвиденными темпами увеличивающегося в окружающей среде количества химических, токсических соединений. В книге установлены – ресурсный потенциал планеты и наличие ее всех жизненно важных резервов, запасов (воды, газа, нефти, основных минеральных ресурсов, плодородных почв и т.д.), формы трансформирования образа жизни *Homo sapiens* в новых условиях, также обсуждаются и другие важные факторы.

В исследованиях, проведенных авторами, описывается сложная экологическая ситуация, в которой оказались граждане планеты в силу потребительского отношения и пренебрежения допустимых экологических критериев. Изложена и статистически подтверждена важнейшая информация, непосредственно связанная с ближайшим будущим человечества. Ресурсы планеты, способные обеспечить потребительские запросы *Homo consumens*, – на исходе, ежегодный прирост населения Земли составляет 80-100 миллионов человек и очевидно, что экологическая катастрофа неизбежна. Для выхода из сложнейшего критического положения предлагается новая инновационная глобальная биотехнология очистки биологических ниш от токсичных соединений и канцерогенных факторов. Что касается новых экологических технологий и социальных реформ, учитывая их прогрессивный характер, а в ряде случаев абсолютную необходимость, следует откровенно признать, что все они носят временный характер, измеряемый десятками лет. В современном необыкновенно быстро меняющемся мире невозможно принять универсальные мероприятия, действие которых обеспечило бы экологическое благосостояние в течение сотен лет. В связи с этим необходимо создание биологических технологий, основанных на природных экологических системах, имеющих продолжительный и глобальный характер действия. Этим вопросам посвящается отдельная глава монографии, основанная на использовании естественного детоксикационного потенциала микроорганизмов и растений, имеющих синергический и глобальный характер действия. Внедрение этой технологии, даже в отдельных зараженных токсичными соединениями регионах могло бы принести большую пользу сохранению экологического баланса всей планеты.

Книга предназначена для широкого круга читателей и должна быть интересна всем деятелям научного мира, экологам, биологам, химикам, политикам, социологам, студентам, аспирантам, преподавателям и всем людям, вовлеченным в благополучие окружающей среды.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	7
Введение .....	9
<b>I. Экология планеты, находящейся на границе физических пределов .....</b>	<b>15</b>
1.1 Природоохранные проблемы планеты .....	15
1.2 Состояние окружающей среды .....	20
1.3 Атмосферный воздух .....	24
1.4 Почва .....	34
1.5 Вода .....	50
1.6 Ресурсы планеты на грани истощения .....	57
<b>II. Токсизм в жизни <i>Homo consúmens</i> .....</b>	<b>81</b>
2.1 Круговорот токсических структур в природе .....	81
2.1.1 Токсические вещества биологического происхождения .....	82
2.1.2 Неприродные токсичные вещества .....	85
2.2 Тяжелые металлы .....	86
2.2.1 Мышьяк .....	86
2.2.2 Свинец .....	87
2.2.3 Ртуть .....	89
2.2.4 Кадмий .....	90
2.3 Канцерогенные ароматические углеводороды .....	91
2.3.1 Бензол .....	91
2.3.2 Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) .....	92
2.4 Пестициды .....	93
2.5 Хлорорганические токсиканты .....	96
2.5.1 Диоксины .....	97
2.5.2 Полихлорированные бифенилы .....	98
2.5.3 Хлорированные алканы и алкены .....	99
2.6 Миграция токсикантов .....	100
2.7 Поверхностно-активные вещества .....	104
2.8 Взрывчатые вещества .....	105
2.8.1 Тринитротолуол .....	105
2.9 Загрязнители атмосферного воздуха .....	106
2.9.1 Оксиды углерода .....	108

2.9.2	Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	110
2.9.3	Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	111
2.9.4	Смог	112
2.9.5	Химические аварии	113
2.10	Потребительские результаты <i>Homo consúmens</i>	119
<b>III.</b>	<b>Современные экологические технологии</b>	<b>129</b>
3.1	Физические технологии	134
3.2	Химические технологии	136
3.3	Биологические технологии	138
3.4	Проблемы ремедиации водных ресурсов и почвы	140
3.4.1	Вода	140
3.4.2	Почва	148
3.4.3	Воздух	151
3.5	Инновационные технологии, основанные на действии микроорганизмов и растений	155
3.5.1	Микроорганизмы и растения - детоксификаторы глобальных масштабов	160
<b>IV.</b>	<b>Возможные агроэкологические и социальные изменения в результате глобального использования биоэкологических принципов ремедиации окружающей среды (технологий)</b>	<b>182</b>
	Использованная литература	196

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В монографии впервые проведена оценка химического и биологического неоднобразия окружающей среды в масштабе всей планеты. Указаны экологически наиболее благополучные страны, а также регионы, в которых содержание соединений токсической природы во много раз превышает физиологически допустимые максимальные дозы этих компонентов. Вступительная часть монографии посвящена описанию экологического состояния и существующего дисбаланса, а также степени загрязнения планеты токсичными компонентами нехарактерных природе химических структур. К сожалению, анализ современной концепции сохранности экологии по многим причинам далеко не всегда соответствует существующим требованиям и в ряде случаев уводит *Homo sapiens* в другое направление от реальных проблем окружающей среды. Беспрецедентная погоня за прибылью, непосредственно связанная с катастрофически уменьшающимися минеральными запасами планеты, вынуждают общество, с одной стороны, более рационально использовать возобновляемые ресурсы и любые производственные отходы, а с другой, как обязательное требование, изменить расточительный образ жизни *Homo consúmens* на более экономичный. Временем установленные общечеловеческие взаимоотношения и жизненно важную связь между техно- и биосферой несомненно следует решать на основе биологического императива.

В монографии отдельная глава посвящена краткому описанию токсичных характеристик наиболее распространенных, постоянно увеличивающихся во всех экологических нишах, стабильных, несвойственных природе компонентов окружающей среды. Подавляющее большинство этих соединений имеют антропогенную природу и, в результате постоянного контакта, крайне отрицательно влияют на физиологию и функциональную деятельность всех живых организмов. В результате биоаккумуляции они способны накапливаться в организме в высоких концентрациях, что ведет к повышению токсичности организмов, связанного с тяжелыми последствиями. Описаны естественные и антропогенные источники образования и пути распространения токсичных соединений в природе.

На фоне общего, крайне неблагоприятного экологического положения, в монографии рассмотрены ныне широко распространенные химические, физические и биологические экологические технологии, определена эффективность их использования. Несмотря на несомненно положительную оценку этих техноло-



гий, делается вывод, что их действие ограничивается локальным или региональным масштабом.

Авторами в качестве новой инновационной экологической биотехнологии разработана биологическая концепция глобального характера, основанная на ремедиационных способностях микроорганизмов и растений, как в условиях их совместного действия, так и в виде отдельных технологий. Эти технологии не требуют особых условий при их использовании, и они абсолютно “дружелюбны” природе. С учетом детоксикационных способностей созданы коллекции микроорганизмов всех таксономических групп (прокариот и эукариот), выделенных из разных почвенно-климатических зон. Коллекция состоит из мезофильных и разных типов экстремофильных штаммов микроорганизмов, позволяющих использовать их детоксикационный потенциал во всех природных условиях. Показан широкий спектр соединений токсических структур, деградируемых совместным использованием растений и микроорганизмов, исключая критические условия. Особое внимание уделяется экологическому потенциалу совместного использования селективно отобранных ризосферных микроорганизмов и корневой системы растений, как новой инновационной экологической технологии, способной эффективно очищать почву и водные резервуары практически от всех токсичных соединений, а также реанимировать эрозийные и бедные по органике почвы. Обсуждаются возможности и перспективы глобального использования предлагаемых технологий в разных частях планеты. Книга систематизирует экспериментальные результаты многолетних исследований авторов и аналогичные литературные данные, посвященные классическим и инновационным экологическим исследованиям. На основе анализа имеющейся информации формируется обоснованное предположение, что экобиологические технологии, созданные на базе повсеместно распространенных в мире микроорганизмов и растений, являются единственной возможностью глобальной реанемации всей суши планеты, с учетом ее заражения токсическими веществами, эрозии, недостаточной продуктивности, обусловленных рядом факторов. Несомненно, другим важным фактором является изменение образа жизни подавляющего большинства *Homo consúmens*, заключающееся в более экономичном образе жизни. Не вызывает ни малейшего сомнения, что забота об окружающей среде должна стать всечеловеческой, соответственно, следует изменить и существенно расширить всеобщее образование, касающееся заботы об окружающей среде.

# ВВЕДЕНИЕ

Анализируя историю мироздания нашей планеты, сформировавшейся в результате многочисленных космических, геологических и геохимических преобразований, а также возникновения биосферы при непосредственном участии солнечной энергии, предопределили возникновение и дальнейшую сложную эволюцию общества именуемого сегодня как *Homo sapiens*. Соответственно, поведение и этапы развития человечества в древних веках во многом носили схожий характер и различия определялись в основном климатическими разнообразиями. Дальнейшая эволюция человечества внесла свои коррективы в развитие общества. В процессе развития, под влиянием разных факторов, общество начало отличаться менталитетом, традициями, цветом кожи, сложились независимые нации. На сегодня, несмотря на полную генетическую идентичность человеческого рода, следует отметить существование многоконфессионального, политически разнообразного, разноязычного сообщества, характеризующегося рядом особенностей, отличающих людей друг от друга. Несмотря на все эти различия, народы, населяющие планету, характеризуются большей социальной, физиологической и биохимической идентичностью, большей общностью образа жизни, чем различиями. В чем заключается причина такого сходства? В процессе формирования все народы планеты имели очень близкую связь с природой. Близкие по существу принципы природопользования несомненно образовали глубокую органическую связь человека с окружающей средой, что и явилось причиной общности многих компонентов современного человека, продолжавшейся в течении многих миллионов лет.

**Именно эти, веками сложившиеся отношения человека с природой, сыграли важнейшую роль в становлении некоторых сравнимых особенностей менталитета, культуры и обычаев всех наций и разных социальных слоев.**

А что происходит сегодня? Человек, являющийся физиологически наиболее сложным и многогранным (мыслящим) продуктом природы, со временем, приобретая все большую степень свободы, знаний и независимости, начал постепенно отдаляться от природы, создав, для удовлетворения собственных принципов, характерные и выгодные для него эгоистические взаимоотношения с природой.

А что было дальше, уже в цивилизованном обществе людей?

На основе всех побед и достижений, вобрав в себя все общечеловеческие ценности, люди получили преимущество над всем остальным миром, и у них сложилось вполне определенное мнение, характерное для подавляющего большинства людей, четко выраженное крылатой фразой: **«Человек разумный – существо мыслящее»**.

Без всякого сомнения можно сказать, что это выражение в течение нескольких веков, согласно общественному мнению, себя вполне оправдывало, не остается оно бессмысленным и сегодня, но с некоторыми очень серьезными отклонениями. Итак, достигнув серьезных успехов в науке, промышленности, искусстве, почти на уровне совершенства, почувствовав себя хозяином положения, шаг за шагом человечество встает на путь отказа от традиционно существующих близких связей с породившей его природой. Как сказал знаменитый норвежский ученый и путешественник Т. Хейердал в 1972 году в Стокгольме: «Пять тысячелетий новых триумфов двуногого бунтаря (человека), единственного мятежника среди многочисленных детей природы. Природа сдавала гектар за гектаром, дерево за деревом, реку за рекой, а человек все наступал, все расширял завоевания, используя мозг, данный ему природой...».

Постараемся объяснить, как посредством его действий (человека) окружающая нас природа, с ее колоссальным многообразием и возобновляемым потенциалом, переходит в новую стадию нестабильности в связи: с перенаселением планеты, необыкновенными масштабами потребления всех видов ресурсов, товаров, услуг, истощением природных запасов невозобновляемых энергетических ресурсов, острым дефицитом питьевой воды, деградацией и опустыниванием почв, выбросами парниковых газов, таянием ледников и глобальным потеплением, ущербом, наносимым экосистеме Мирового океана, отравлением сельскохозяйственных земель пестицидами и минеральными удобрениями, значительным увеличением всех видов транспорта, повышением токсичных соединений во всех экологических нишах, бесконтрольным развитием искусственного интеллекта.

Самыми серьезными причинами бесконтрольных и безответственных действий, приведших к создавшейся ситуации, стали непрогнозируемо растущее население, расточительное отношение к ресурсам планеты, необратимые нарушения экологического баланса окружающей среды, массовая урбанизация и, как следствие, неизбежность серьезного экологического дисбаланса, неминуемый регресс качества жизни *Homo sapiens*, сознание которого со временем оказалось направленным лишь на потребление.

Можно полагать, что где-то в начале второй половины XX века завершился многовековой этап существования человека под названием *Homo sapiens*, осознающего свою ответственность за природу, и началось формирование человека нового типа, человека потребляющего – *Homo consúmens*, то есть, использующего для удовлетворения своих потребностей все, что создала природа за многомиллионный период своего существования. *Ворлдбиом*, являющийся сообществом всех живых организмов и, соответственно, их генофонда, оказался в полном подчинении человека нового типа, который диктует новые каноны существования и принципов жизни, в основном отражающих желания современного *Homo consúmens*. При этом практически не обсуждаются фундаментальные проблемы, связанные с постоянно ухудщающейся экологией, находящейся на уровне физических пределов, продолжением рода человеческого, заботой о завтрашнем дне и т.д.

Являясь основной частью современной цивилизации, *Ворлдбиом* – сообщество всех организмов, образующих экосистему, от самых простых, одноклеточных, до физиологически и морфологически сложнейших млекопитающих, объединенных по принципу совместного существования в ими же созданном мире. *Homo sapiens* – физиологически наиболее сложный, созданный *Ворлдбиомом* организм, который он наделил способностью наивысшего мышления. **А что такое *Ворлдбиом* с точки зрения философии – это то, что соответствует классическому понятию «космикус квантикус церебрум» (лат. *Cosmicus quanticus cerebrum*) – Вселенский квантовый разум.**

Общество все больше начинает понимать, что мы живем в очень сложном, постоянно меняющемся мире – от микрочастиц до необъятных космических пространств – в мире, который мы называем Вселенной. Все более важную роль в жизни общества играет эволюция знаний на всех уровнях: генетическом, атомно-молекулярном и космическом. Новая цель, порожденная временем – обозначить пути действия и создания тех форм и принципов жизни, которые соответствуют постоянной эволюции *Ворлдбиома*.

Информация в данном случае рассматривается как динамическая, системная совокупность эволюции материи. Основной атрибут, определяющий ее состояние на различных уровнях, чрезвычайно разнообразный, состоящий из колоссального многообразия веществ, организмов всех видов иерархий. Изменения в окружающей среде непосредственно влияют и на внутренние изменения орга-

низмов (неестественную эволюцию), формирование модифицированных временем организмов, протекание биологических процессов, активно воздействуя и на сознание человека.

Установленные формулировки явлений позволяют придать этим понятиям ясный физический смысл и определить для человечества пути развития целостности материального мира новой формации. Продолжая мысль, следует отметить, что в ближайшее время для современной цивилизации, в результате беспощадного потребительского отношения, экологическая и социальная катастрофа и для *Homo consu'mens* также неминуема.

Для природы безразлично, какое социальное устройство руководит страной, регионом, континентом, единственное ее требование к нам, живущим на планете людям, добиться, чтобы экономикой управляла экология. Современный мир людей взаимозависим, как никогда ранее и надвигающаяся экологическая катастрофа очевидна и неминуема.

В связи с неизбежным исчерпанием жизненно важных невозобновляемых минеральных ресурсов и нефтяных запасов, повышения количества жителей планеты, появляется опасность острого дефицита первопотребных условий жизни (пищи, энергии, экологии). Несомненно, все это приведет к необходимости создания концепции новой цивилизации, способной адаптироваться в новых условиях. Цель этой цивилизации – создание многопланового человека – *Homo cosmicus*, способного общаться с другими небесными телами, и, в отличие от *Homo consu'mens* (современного человека), способного жить другой, более экономной жизнью, строго руководствуясь экологическими принципами. Довольно скоро человечество должно будет отказаться от характерного своеуравия, отречься от бесконтрольного потребления естественных ресурсов, в основном, опираясь на возобновляемые, подчинить свои требования и разум одной идее – эпигенетического совершенствования во всепланетного гражданина.

Анализируя историю многих миллионов лет существования жизни, невольно приходишь к выводу, что основное влияние на эволюционное формирование живущих в прошлом организмов оказывали только естественные факторы, такие как: климатические изменения, вулканические выбросы больших, высокотемпературных подземных массивов, естественные процессы гниения и биологического окисления, оказывающие влияние на климатические изменения и др., обогащающие окружающую среду широким спектром химических соеди-

нений. В течение миллионов лет природа и наш прародитель *Ворлдбиом* создали живой мир с удивительным биомногообразием. В современных условиях существующий естественный физический, химический и биологический потенциал планеты в значительной степени стимулирует сосуществование разных форм жизни. Однако постоянно увеличивающаяся концентрация антропогенные факторов, в значительной степени превосходящая все естественные источники токсичности окружающей среды, крайне отрицательно влияет на биомногообразие всей планеты.

- Основными задачами, представленными в настоящей монографии, являются:
- анализ новой, инновационной, дружественной природе, глобальной экологической биотехнологии, представленной авторами, основанной на способности микроорганизмов и растений, как в отдельности, так и совместно, симбиотически осуществлять удаление токсических соединений из всех экологических ниш, широкомасштабное использование которой позволит значительно (на многие десятки лет) отодвинуть надвигающуюся экологическую катастрофу. Эти дружественные природе биологические технологии, основанные на естественных биопревращениях, не требующие использования критических условий, намного эффективнее и масштабнее всех известных современных классических технологий [1];
  - перевоплощение общества *Homo sapiens*, в подавляющем большинстве уже переформировавшегося в *Homo consumens* (человека потребляющего), в человека нового образца – *Homo cosmicus*, имеющего планетарное мышление и, вместе с тем, постоянно заботящегося об экологических проблемах планеты, крайне бережливо относящегося ко всевозможным расходам (использующего пищу, произведенную традиционными и нетрадиционными способами, особенно бережливо относящегося к использованию воды, энергии, всех товаров потребления и т.д.).

Интуитивно отказавшись выбрать путь истинно дружественный и вполне сопоставимый с природой и ее ценностями, мы - все человечество, тем самым предпочли самоутверждение, свою доминантность. Интересно, что, не считая последних десятилетий, уже в преддверии угрожающей экологической беды, никто никогда даже не пытался изменить нашу логику и философию жизни, чтобы направить ее на более мягкие формы природопользования. Очевидно, нам нравится повторять выражение, ставшее всеобщим девизом: «Все для человека!».

Создавшаяся, крайне обостренная, экологическая ситуация планеты вынуждает предпринять решительные меры в масштабе всего мира. Все объясняется тем, что не существует национальной экологии, а есть ЭКОЛОГИЯ планеты, от которой зависит все ее население. Чтобы обосновать эту догму, достаточно привести следующий пример. Да, планетарная система обладает самовосстанавливающей способностью, самоочищаясь от токсических и всех других неестественных соединений, но следует отметить, что даже эти возможности в природе ограничены. Так, например, двуокись углерода, не являясь активным контаминантом, при высоких концентрациях проявляет значительную токсичность и в ряде случаев приобретает летальный характер. Это соединение является прямым субстратом для фотосинтеза, образующего на базе двуокиси углерода сахар, который является базовым соединением для образования других органических соединений. Около 30% всей массы образуемой двуокиси углерода усваивается океанией, и это весьма солидное количество. Но проблема заключается в том, что в результате индустриализации и ряда других причин, количество образуемого  $\text{CO}_2$  превышает потенциал усвоения планеты. Накопивающаяся углекислота, являясь также компонентом для смога, нарушает баланс количественного состава воздуха, тем самым отрицательно воздействуя на все организмы, способствуя проявлению ряда специфических заболеваний.

# I. ЭКОЛОГИЯ ПЛАНЕТЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ НА ГРАНИЦЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДЕЛОВ

## 1.1 Природоохранные проблемы планеты

Бесконтрольный непрогнозируемый рост населения меняет реальность планеты, естественные экосистемы вытесняются мегаполисами, транспортными, сельскохозяйственными, энергетическими и другими промышленными объектами, особенно большой вред экологии наносит добыча и переработка нефти. Все это ведет к колоссальному загрязнению окружающей среды, потере биологического разнообразия, уменьшению аграрных плантаций, ухудшению условий жизни населения всей планеты. Загрязнение окружающей среды крайне негативно сказывается на здоровье ее жителей. Ежегодно более 1,8 миллиона людей погибают в результате неинфекционных заболеваний легких; 9 из 10 жителей планеты дышат загрязненным воздухом; более 70% смертных случаев от инсульта, широкое распространение рака легких и респираторных заболеваний вызвано высоким уровнем загрязнения воздуха [2]. На сегодня картина самых загрязненных стран мира по содержанию PM2.5 выглядит следующим образом: Бангладеш – 77,10, Пакистан – 59,00, Индия – 51,90, Монголия – 46,60, Афганистан – 46,50, Оман – 44,40, Катар – 44,30, Непал – 39,20.

Надо отметить, что причины экологического неблагополучия у всех этих стран различные [3].

Экологические проблемы **Пакистана** связаны с истощением природных ресурсов и продолжительными военными действиями. **Катар, страна богатая природными ресурсами – газом и нефтью, однако перерабатывающие их предприятия выбрасывают критически большое количество токсичных соединений в атмосферу.**

Экологическая ситуация в **Афганистане** связана с военными действиями, продолжающимися уже несколько десятилетий. **Бангладеш** в основном страдает от естественных причин, наводнений и оползней. Вырубка лесов и лесные пожары



существенно ухудшают экологию в **Монголии**. Этот список можно продолжить, но следует отметить, что причинами экологического загрязнения могут являться не только добыча нефти и газа, но и другие факторы.

25 сентября 2015 года ООН приняла комплекс мер из 17 пунктов и 196 задач, обеспечивающих сбалансированность развития всех континентов. Из этих пунктов три непосредственно связаны с экологией:

**Пункт 13 (из 17 ООН). Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями;**

**Пункт 14. Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития;**

**Пункт 15. Защита, восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное управление лесами, борьба с опустыниванием, прекращение процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия.**

Нельзя сказать, что все эти рекомендации строго выполняются, но не вызывает сомнений и то, что они на практике уже возымели свое действие.

Уже в начале XXI века человечество столкнулось с небывалыми экологическими проблемами: непрогнозируемо растущим населением планеты, глобальным изменением климата, таянием больших массивов льда, колоссальным увеличением объемов промышленности и транспорта, образованием большого количества мегаполисов и многими другими. На основе интенсивного земледелия, почвы становятся все более истощенными по содержанию в них органического углерода и азота и деградированными в результате действия техногенных соединений. В этом удивительно быстро меняющемся мире достижение устойчивого экологического равновесия и обеспечение пищевыми ресурсами населения планеты никогда еще не было столь сложной и важной задачей. Описать все разнообразие экологических проблем планеты в рамках данной монографии элементарно невозможно, поэтому будут обсуждаться основные факторы, вызывающие экологический дисбаланс, характерный для разных регионов планеты.

Одним из важнейших компонентов экосистемы является жизненно важная, разнообразная по структуре, химическому составу, наличию токсичных контаминантов почва. Будучи невозобновляемым, в течение долгого времени природным ресурсом, почва лежит в основе производства сельскохозяйственных продуктов, кормов, волокон, топлива, очищает десятки тысяч кубических километров столь

важной для всего человечества питьевой воды в год. Служит основным резервуаром для синтеза, хранения и использования связанного углерода и фиксации молекулярного азота, в значительной степени уменьшает выбросы двуокси углерода и других парниковых газов, находящихся в атмосфере. Почва дает более 95% пищи и является основой для решения проблем искоренения бедности, обеспечения продовольствием всего человечества.

Требуемыми характеристиками для обеспечения нормального уровня всех почв являются:

1. Минимальный уровень эрозии, вызванной дефицитом воды и ветра.
2. Почва не должна быть деградированной и должна обеспечивать стабильную физическую среду для движения воздуха, воды и тепла, роста корней травянистых, кустарниковых и больших деревьев.
3. Необходим поверхностный покров (образованный, например, растущими травянистыми растениями), требуемый для защиты почвы.
4. Необходим стабильный запас органического вещества почвы, соответствующий оптимальному уровню местной окружающей среды.
5. Почва должна обеспечивать доступность достаточного количества питательных веществ для усвоения всеми видами растений.
6. Важной характеристикой почвы является минимальный уровень засоления и осолонцевания.
7. Почва должна содержать требуемое количество воды, обеспечиваемое атмосферными осадками, искусственным орошением и дополнительными источниками воды.
8. Характерной чертой почвы должен быть очень низкий уровень содержания загрязняющих токсичных веществ.
9. Почва должна обеспечивать существующее биоразнообразие полным спектром химических соединений.
10. Для достижения вышеназванных целей необходимо обеспечение оптимальными современными технологиями почвопользования. За последние десятилетия существенно увеличились захваченные человеком у природы площади под мегаполисы, заводы, строения, коммуникации, свалки и др.

Следует обозначить современные главные характерные экологические проблемы, среди которых, в первую очередь, можно выделить последствия влияния деятельности человека на окружающую среду, проявляющиеся прежде всего в:

- загрязнении атмосферного воздуха;
- истощении водных ресурсов, пригодных для питья;
- загрязнении почвенного покрова токсичными – в основном техногенными – веществами и отходами производства и потребления;
- нарушении логически допустимого территориального соотношения между неаграрными промышленными, аграрными и свободными экологическими территориями – леса, луга, пастбища, озера, реки, определяющими экологический баланс крупных регионов.

Экологические проблемы современности сопряжены с глобальными проблемами устойчивого развития и существования мирового сообщества. Постоянное, всестороннее внимание к экологическим проблемам уже несомненно стало общемировой проблемой. Судя по уже создавшейся экологической ситуации, экстраполяция развития общества современными темпами и масштабами может стать бесперспективной, если не будут приняты конкретные меры. В частности, все разрабатываемые и существующие технологии (для оценки их техногенности) должны быть оценены через призму экологии; необходимы срочные природоохранные меры по ремедиации окружающей среды, включающие в себя законодательные, организационные, технические вопросы, а также инновационные, дружественные природе аграрные технологии.

Проблеме очистки загрязненных почв и почвогрунтов уделяется пристальное внимание. С этой целью в ряде развитых стран – США, Канада, страны Западной Европы, Россия, Япония, Южная Корея, Китай и др. – созданы государственные организации, внимательно изучающие состояние почвы.

Несмотря на обширность экологического загрязнения окружающей среды, проблемы, связанные с добычей, переработкой и использованием нефти и нефтепродуктов, одного из важнейших полезных ископаемых, являются предметом специального обсуждения. На поверхности земли нефть и отходы ее переработки отличаются особенно большими масштабами и высокой токсичностью, а отдельные компоненты, как токсичные углеводороды, исключительно высокой миграционной способностью. Местонахождением органической массы, предшественника нефтепродуктов, явились анаэробные условия, базирующиеся на восстановительных реакциях органических соединений, где характерные для геохимических процессов преобразования в бескислородной среде происходили очень медленно – тысячелетиями. Следует учесть, что во время добычи и транс-

портировки нефти, ввиду интенсивного контакта с кислородом, характеристики самой нефти и нефтепродуктов меняются в результате быстро протекающих окислительных процессов.

Одной из самых сложных, глобальных проблем современного сообщества является дефицит пресной воды. Пресная вода, являясь абсолютно необходимым компонентом для обеспечения экологических и жизненно важных условий для всех организмов, населяющих планету, уже стала остродефицитной как минимум в 40 странах мира. Общая территория этих стран составляет не менее 60% площади всей планеты. Согласно достоверным данным, в день человечество использует не менее 10 миллионов тонн питьевой воды, и эта цифра, с ростом населения планеты, имеет постоянную тенденцию к существенному увеличению. Учитывая критическую важность обессоленной воды и принимая во внимание, что популяция планеты использует приблизительно 4 триллиона м<sup>3</sup> воды в год, в глобальных масштабах большую опасность представляют различные антропогенные загрязняющие вещества, которые достаточно быстро распространяются на больших территориях, вызывая загрязнение всех экологических ниш [4].

Непрогнозируемый рост населения, существование крупных городов, городских агломераций и мегаполисов с соответствующей инфраструктурой, безусловно, являются одной из основных причин загрязнения окружающей среды. Экологическая обстановка настолько усложнилась, что в Евросоюзе, где выделяемая автомобилями двуокись углерода составляет 12% от общего количества техногенных выхлопных газов, компаниям, производителям автомобилей, предъявлены строгие требования. Цель этих требований состоит в том, чтобы интенсивность выхлопных газов, содержащих канцерогенные бенз[а]антрацен, бенз[а]пирен, окись углерода, стала бы совсем незначительной и максимально приблизилась к нулю, а спонтанно образуемая двуокись углерода при помощи фотосинтеза преобразовывалась в органические соединения.

Серьезным экологическим документом является отчет, представленный Программой Объединенных Наций по окружающей среде – United Nations Environment Programme, UNEP, 2009 – как ответ на глобальный кризис 2008 года, касающийся пищи, горючего и финансов. В документе рассматривается ряд политических действий с целью стимулирования экономики и одновременного улучшения стабильности мировой экономики. The Global Green New Deal

(GGND) предлагает правительствам выделить специальное финансирование зеленому сектору по трем направлениям: (1) восстановление (оздоровление) экономики; (2) искоренение нужды; (3) уменьшение эмиссии углерода и деградации экосистемы; осуществление рамочной программы стимулирования зеленых программ и таким образом поддержание местной и международной экологической политики [5].

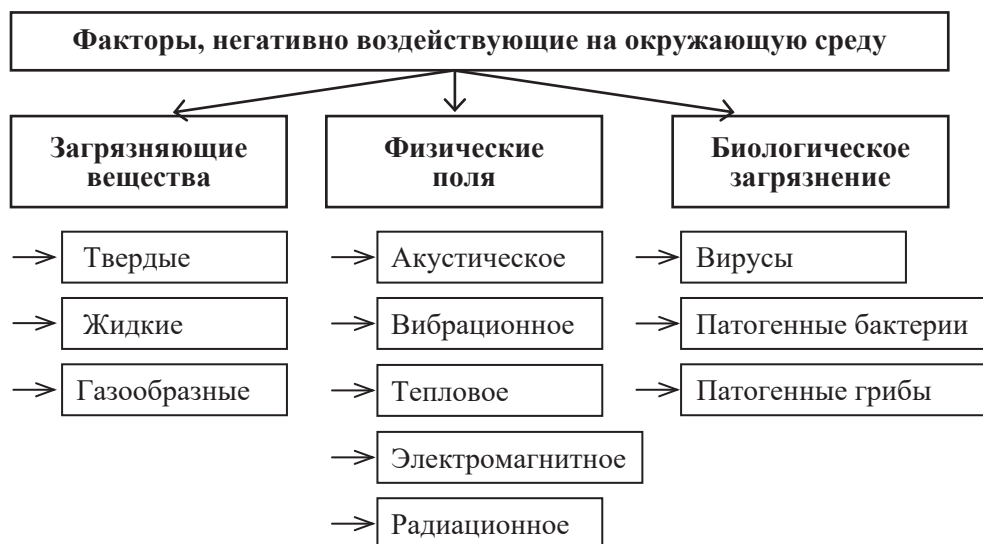
**Зеленый пакт для Европы (The European Green Deal)**, утвержденный в 2020 году, представляет собой набор политических инициатив Европейской комиссии, главной целью которых является превратить Европейский союз (ЕС) в климатически нейтральный к 2050 году (приблизить к нулевому значению эмиссию токсических соединений). В современных условиях изменение климата и ухудшение состояния окружающей среды – это экзистенциальная угроза и для Европы, и для всего мира. Реализация Зеленого пакта превратит Европейский союз в экологически стабильную, ресурсоэффективную и конкурентоспособную экономику, обеспечив:

- отсутствие выбросов парниковых газов к 2050 г.
- достижение экономического роста стран, не связанного, либо минимально зависящего от использования природных энергетических ресурсов, основной целью которых является устранение вредных эмиссионных выбросов.

## 1.2 Состояние окружающей среды

Важное место в комплексе решения глобальных и региональных экологических проблем занимают природные явления и факторы экономического (антропогенные факторы), биологического, социального и политического характера, негативно воздействующие на окружающую среду. Анализ многолетних наблюдений позволяет заключить, что в современных условиях развития мировой экономики эти факторы подвержены изменениям, часто приводящим к их негативной или крайне негативной экологичности.

Факторы, загрязняющие окружающую среду, очевидно, следует делить на три основные группы [126,127] (Рис.1).



**Рис. 1.** Факторы, глобально и регионально воздействующие на состояние окружающей среды

К 1-й группе относят загрязняющие вещества по характеру механического загрязнения, которые в зависимости от агрегатного состояния могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Кроме хорошо известных и детально охарактеризованных источников газообразных и жидких агрессивных смесей, в последнее время в большую проблему превратилась элиминация колоссального количества пластикообразных материалов, полученных химическим синтезом. Проблема заключается в том, что эти материалы, по мере своего разложения под действием солнечной радиации, осуществляют выброс следов метана и этилена, являющихся типичными парниковыми газами. Особенно присуще это свойство поликарбонату, акрилопласту, полипропилену, а также полиэтиленам высокой и низкой плотности. Полиэтилен, используемый для производства пакетов, считается наиболее активным источником эмиссии метана и этилена. Установлено, что метан является в 30 раз более мощным парниковым газом, чем двуокись углерода.

Ко 2-й группе относят физические поля, которые в зависимости от их природы могут проявляться в виде:

- акустического поля, являющегося результатом воздействия различных источников звуковых волн;
- вибрационного поля, в результате воздействия упругих механических колебаний;
- теплового поля, часто возникающего в результате повышения температуры окружающей среды;

– электромагнитного поля, вызванного действием различных источников электромагнитных волн;

– радиационного поля, под действием источников ионизирующего излучения.

К 3-й группе относят биологические загрязнения, различные формы патогенного воздействия вирусов и микроорганизмов разных таксономических форм (бактерии, актиномицеты, мицелиальные грибы), ухудшающие экологию экосистем, являющиеся источниками биологического гниения (часто нехарактерных окислительных процессов) природных соединений, инфекционных заболеваний, негативно влияющие на физиологию и метаболические процессы человека, животных и растений.

Перечисленные факторы не только отрицательно воздействуют на организм человека, но в целом ухудшают экологическую обстановку на региональном уровне, способствуя проявлению разных инфекционных заболеваний у людей, нанося особо серьезный ущерб крупным городам (местам их наиболее вероятного распространения), городским агломерациям и мегаполисам.

**Загрязняющие вещества: природные и антропогенные.** Загрязняющим веществом может считаться любое природное или синтезированное соединение, находящееся в окружающей среде в количествах, превышающих предельно допустимые (ПДК) их значения, характерные для региона. Любое загрязняющее вещество является химическим соединением с соответствующими структурами: физическими, химическими, биологическими и экологическими характеристиками.

Загрязняющие вещества классифицируют по различным признакам. Первый, и основной признак агрегатного вещества – это его физическое состояние: газообразное, жидкое и твердое. Другим важным классификационным признаком является его принадлежность к природным или антропогенным факторам. В основном именно этот фактор в значительной степени определяет биоградабельность, то есть совместимость вещества в природе.

Для окружающей среды природные загрязняющие вещества – это токсичные продукты жизнедеятельности организмов, извержения вулканов, лесных пожаров больших масштабов, песчаных бурь и других природных явлений, включая внешние воздействия космоса, в результате которых возникает дисбаланс материальных веществ и физических факторов в окружающей среде.

Более серьезную экологическую опасность представляют существующие в большом количестве и широко распространяемые антропогенные загрязняющие вещества. Они характеризуются высокой стабильностью, неравномерностью распределения в литосфере и, соответственно, в экологических нишах, низкой биodeградaбельностью.

В современных условиях к основным экологическим загрязнителям окружающей среды относят метан как продукт постоянного генерирования разными видами микроорганизмов, токсичные газы и твердые частицы, выделяющиеся при извержении вулканов, эмиссию оксида и диоксида углерода при лесных пожарах, песчаных бурях, нефть при добыче и транспортировке, просачивающаяся в почвы, реки, моря, тяжелые металлы при смыве руд, при наводнениях и оползнях, то есть продукты естественных процессов и техногенных производств.

Наибольшую экологическую опасность в силу их большего количества и всеобщего распространения представляют негативно воздействующие на окружающую среду антропогенные факторы, в одинаковой степени загрязняющие все экологические ниши. Являясь основной формой экологического загрязнения окружающей среды, они коренным образом влияют и изменяют микро-, а в ряде случаев и макросреду их локации. Стабильные в биотических и абиотических условиях, они оказывают негативное воздействие на все виды организмов либо сами, либо в композитных супрамолекулярных комплексах с другими компонентами окружающей среды.

В основе существующего экологического дисбаланса планеты лежит постоянное стремление людей улучшить многообразные условия жизни, заработать как можно больше прибыли (мультинациональные компании). Но за последние 100-120 лет непрогнозированный прирост населения планеты увеличил техногенную нагрузку на экосистемы настолько, что она уже превысила *биорегенерационный* потенциал планеты; настала необходимость решать проблемы, связанные с постоянно прогрессирующим, интенсивным загрязнением природы: воздуха, почвы и воды.

Этимология понятий «демография» и «пандемия» позволяет охарактеризовать их как слова, имеющие один корень «демос» – «народ». Во втором случае «пандемия» «весь народ» – это высший уровень охвата населения, который является наиболее опасным. Очевидно, что демографический «след» пандемии, как осо-



бой формы экологического и экономического кризисов, в первую очередь проявляется в повышении показателей смертности населения.

### 1.3 Атмосферный воздух

Несомненно, одним из важнейших компонентов биосферы является атмосферный воздух. За всю историю существования человечества, несмотря на протекающие на Земле часто хаотичные геологические, климатические, а также эволюционные процессы, не произошло критического количественного изменения основных компонентов воздуха – азота, кислорода, двуокиси углерода и аргона, хотя совершенно ясно, что эмиссия нехарактерных атмосферному воздуху газообразных соединений всегда имела место, и осуществляется и настоящее время. Это, несомненно, является результатом феноменальной способности самообновления и саморегулирования экологического баланса природы.

С большой вероятностью можно предположить, что даже незначительные изменения состава воздуха могут стать основой нехарактерных физиологических и биохимических изменений, которые способны вызвать серьезные нарушения спектра адаптированных к существующим условиям многих земных организмов.

Несомненно, важен вопрос: какие явления действуют на атмосферный воздух. На химический состав атмосферы оказывает влияние любое неприродное газообразное формирование, которое, кроме механического смешивания, химически реагирует с составляющими воздух компонентами, образуя сложные, стабильные комплексы. Существующие в воздухе газы характеризуются способностью рассеивать излучение волн разной длины, что снижает их общее воздействие на все формы живых организмов.

Более 3000 веществ, не входящих в состав атмосферы, но попадающих в нее, также являются веществами, загрязняющими атмосферный воздух. Эти соединения, во-первых, сами загрязняют воздух, а во-вторых, вступая в реакции с компонентами воздуха, уменьшают их концентрацию, образуя новые, нехарактерные для воздуха компоненты. Кроме вышеуказанных, также загрязняющими являются вещества, которые обычно присутствуют в других слоях атмосферы, например, озон в стратосфере после его попадания в тропосферу.

Основные источники появления естественных и неспецифических антропогенных газов довольно многочисленны, как то: газы, возникающие во всех промышленных процессах; содержащиеся в выхлопах работающего на бен-

зиновом и дизельном топливе транспорта; выделяемые патогенными микроорганизмами; имеющие вулканические происхождения; проникающие из космоса – необычные для атмосферы Земли; газы, образующиеся в природе в результате биологических процессов – гниения, биологического окисления и других микробиологических процессов, осуществляемых патогенными микроорганизмами.

Развитие промышленности небывалыми темпами и масштабами вызвало попадание в атмосферу большого разнообразия (более 2 тысяч) новых нехарактерных для окружающей среды техногенных соединений, например, таких, как чистый хлор, который интенсивно используется в химической промышленности. Несмотря на его небольшие концентрации в воздухе и почве, этот галоген представляет собой большую опасность в естественных условиях, образуя хлорорганические соединения, которые, попадая в пищевую цепь, крайне отрицательно влияют на здоровье человека и животных.

Особенно ярко выраженной и долгосрочной токсичностью характеризуется группа техногенных соединений, называемых диоксинами. Это особая группа хлорорганических соединений, которая отличается необычной стабильностью в естественных условиях и неизменным сохранением характерной токсичной структуры на протяжении десятилетий.

На фоне негативного воздействия на атмосферный воздух огромного количества природных и антропогенных факторов, особенно жизненно важным является их воздействие на живые организмы и вызывающее изменения на поверхности планеты – в воде, воздухе и почве.

Одним из таковых является так называемый парниковый эффект, вызванный повышенным количеством техногенных газов, что представляет собой «ответ» литосферы на фоновое повышение нехарактерных для природы газов. Эффект этот, сформировавшийся в XX веке, характерен для больших городов.

Наиболее распространенными антропогенными соединениями для разных слоев атмосферного воздуха являются [6]:

- в атмосфере – газообразные вещества (диоксид серы, оксиды углерода и азота), твердые частицы (пыль, сажа, соединения тяжелых металлов), органические соединения, в том числе формирующие фотохимический смог и разрушающие озоновый слой атмосферы пары нефтепродуктов;

- в гидросфере – растворимые и нерастворимые газообразные вещества (соединения хлора, сероводород, озон, водород), взвешенные твердые вещества и растворимые соли тяжелых металлов, жидкие загрязняющие вещества (нефтепродукты, жиры и масла, кислоты, щелочи, поверхностно активные вещества);

- в литосфере (особенно в ее верхнем плодородном слое – почве) – газообразные вещества (соединения аммиака, хлора, азота), большое разнообразие токсичных соединений, взвешенные твердые вещества и растворимые соли тяжелых металлов, жидкие загрязняющие вещества (нефтепродукты, масла, кислоты, щелочи, пестициды). Именно антропогенное загрязнение окружающей среды, и, в первую очередь, воздуха и почвы газообразными, жидкими и твердыми веществами (мелкодисперсной пылью), наносящее ущерб здоровью населения, остается наиболее острой экологической проблемой, имеющей приоритетное социальное и экономическое значение.

К наиболее распространенным загрязняющим веществам в газообразном состоянии относят следующие:

**Диоксид серы (сернистый ангидрид)  $SO_2$**  – бесцветный газ с резким запахом. Молекулярная масса равна 64,066. Плотность чистого сернистого ангидрида при температуре  $0^\circ C$  и давлении 760 мм рт.ст. составляет  $2,9267 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость –  $39,8 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$ , температура плавления составляет  $-72^\circ C$ , температура кипения составляет  $-10,06^\circ C$ , критическая температура равна  $157,5^\circ C$ , критическое давление равно  $7,88 \text{ МПа}$ . Чистый сернистый ангидрид конденсируется в жидкость при температуре  $10,8^\circ C$  и при давлении паров  $SO_2$  над жидкой фазой 760 мм рт.ст. При температуре  $+50,0^\circ C$  и давлении  $0,84 \text{ МПа}$   $SO_2$  переходит в жидкое состояние. Средняя удельная теплоемкость жидкого  $SO_2$  в интервале температур от  $-20,6^\circ C$  до  $+9,8^\circ C$  равна  $20,8 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$ . При температуре  $-72,5^\circ C$   $SO_2$  переходит в твердое состояние.

После попадания в воздух диоксид серы остается в нем сравнительно недолго: от нескольких часов (во влажном воздухе с посторонними примесями, например, аммиаком) до трех недель (в сухом и чистом воздухе). Когда  $SO_2$  смешивается в воздухе с каплями влаги, происходят химические, фотохимические, физические и другие реакции, в результате чего образуется вторичное загрязняющее вещество – серная кислота ( $H_2SO_4$ ), что значительно повышает экологическую опасность диоксида серы. Кроме того, диоксид серы, взаимодействуя со взвешенными частицами, образует соли серной кислоты, ко-

торые способны оседать в легких человека и вызывать серьезные заболевания, вплоть до разрушения тканей. При вдыхании сравнительно небольших концентраций диоксида серы у человека воспаляются верхние дыхательные пути. При этом поражение легких происходит через 1-2 дня после попадания  $\text{SO}_2$  в дыхательные пути [7,21].

В воздухе рабочей зоны производственных помещений ПДК диоксида серы составляет  $10 \text{ мг/м}^3$ , в атмосферном воздухе города максимальная разовая ПДК –  $0,5 \text{ мг/м}^3$ , а среднесуточная ПДК –  $0,05 \text{ мг/м}^3$ .

**Монооксид азота (NO)** – бесцветный газ, образуется при прямом соединении азота с кислородом. Молекулярная масса равна 30,008. Плотность NO при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт.ст. составляет  $1,3402 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость –  $29,86 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$ , температура плавления  $-163,6^\circ\text{C}$ , температура кипения  $-151,7^\circ\text{C}$ , критическая температура  $93^\circ\text{C}$ , критическое давление 6,48 МПа.

В качестве компонента воздуха NO является сильно ядовитым веществом, и его действие направлено на центральную нервную систему; разрушающе действует на легкие, в тяжелых случаях вызывает отек легких и понижает кровяное давление.

В воздухе рабочей зоны производственных помещений ПДК монооксида азота составляет  $5 \text{ мг/м}^3$ , в атмосферном воздухе города максимальная разовая ПДК –  $0,4 \text{ мг/м}^3$ , а среднесуточная ПДК –  $0,06 \text{ мг/м}^3$ .

**Диоксид азота ( $\text{NO}_2$ )** – газ красновато-бурого цвета с характерным острым запахом. Молекулярная масса равна 46,008. Плотность  $\text{NO}_2$  при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт.ст. составляет  $1490 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость –  $36,7 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$ , температура плавления  $-11,2^\circ\text{C}$ , температура кипения  $21^\circ\text{C}$ , критическая температура равна  $158^\circ\text{C}$ , критическое давление 10,1 МПа.

Кратковременное воздействие диоксида азота на организм человека вызывает дисбаланс легких, действуя на слизистые оболочки глаз и носоглотки, повреждает легочную ткань и снижает сопротивляемость организма к инфекционным болезням. В воздухе рабочей зоны производственных помещений ПДК диоксида азота составляет  $2 \text{ мг/м}^3$ , в атмосферном воздухе города максимальная разовая ПДК –  $0,085 \text{ мг/м}^3$ , а среднесуточная ПДК –  $0,04 \text{ мг/м}^3$ .

**Монооксид углерода (угарный газ – CO)** – бесцветный газ, не имеющий запаха. Молекулярная масса равна 28,01. Плотность CO при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт.ст. составляет  $1,25 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость –  $29,14 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$ ,

температура плавления  $-205,02^{\circ}\text{C}$ , температура кипения  $-191,50^{\circ}\text{C}$ , критическая температура  $140,2^{\circ}\text{C}$ , критическое давление  $3,48$  МПа.

Монооксид углерода чрезвычайно ядовит. Будучи продуктом неполного сгорания углеводородов нефти, при воздействии на организм человека он замещает в крови молекулы кислорода, что приводит к возникновению спазма сосудов, головной боли, снижению иммунологической активности, потере сознания, а иногда даже к летальному исходу.

В воздухе рабочей зоны производственных помещений ПДК оксида углерода составляет  $20$  мг/м<sup>3</sup>, в атмосферном воздухе города максимальная разовая ПДК –  $5$  мг/м<sup>3</sup>, а среднесуточная ПДК –  $3$  мг/м<sup>3</sup>.

**Диоксид углерода (углекислый газ –  $\text{CO}_2$ )** – бесцветный, негорючий газ со слабым кисловатым запахом и вкусом. Молекулярная масса равна  $44,010$ . Плотность  $\text{CO}_2$  при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  и давлении  $760$  мм рт.ст. составляет  $1,97$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость –  $819$  Дж/(моль·К), температура плавления составляет  $-56,6^{\circ}\text{C}$ , температура кипения составляет  $-78,47^{\circ}\text{C}$ , критическая температура  $31,05^{\circ}\text{C}$ , критическое давление  $7,38$  МПа.

Токсичность диоксида углерода  $\text{CO}_2$  определяется его концентрацией. Источником  $\text{CO}_2$  являются процессы горения органических веществ. При достаточно высоких концентрациях диоксид углерода способен вытеснять из воздуха кислород. Большая концентрация диоксида углерода в воздухе вызывает удушье. Диоксид углерода легко проникает сквозь солнечный свет в ультрафиолетовой и видимой частях спектра, поглощает испускаемые земной поверхностью инфракрасные лучи. Диоксид углерода относят к парниковым газам [8].

Наиболее распространенным видом загрязняющих компонентов в твердом состоянии является мелкодисперсная пыль, которая делится на органическую, неорганическую – минеральную:

- к органической относят растительную пыль (например, древесную), а также пыль некоторых синтетических веществ – пыль разнообразных пластмасс, резиновых изделий, отделочных тканей, ваты, полиэфирных смол;

- к неорганической пыли относятся металлическая и минеральная – например, пыль железа, свинца и других тяжелых металлов, оксид железа, пыль песка, щебня, гипса, цемента, керамическая пыль.

Свойства пыли изменяются в широких диапазонах, зависят от особенности условий образования пылевых частиц и ряда других параметров. Основ-

ными характеристиками пыли являются: дисперсность – размеры и форма пылевых частиц, структурность, удельная поверхность, адсорбционная способность, химический состав, плотность – истинная, кажущаяся и насыпная, удельное электрическое сопротивление, слипаемость, абразивность, смачиваемость, равновесная влажность и другие свойства, определяющие характер воздействия.

Для людей наибольшую опасность представляют частицы пыли размером PM2.5 и PM10. Негативное воздействие пыли на организм человека проявляется в случае проникновения через органы дыхания в желудочно-кишечный тракт, кожный покров и слизистые оболочки. По характеру воздействия на организм человека пыль делят на раздражающую и токсичную. В зависимости от химического состава пыли значения ее ПДК в воздухе рабочей зоны колеблются в пределах от 1 до 10 мг/м<sup>3</sup>, при этом максимально разовая ПДК и среднесуточная ПДК пыли в среднем соответственно составляют 0,5 мг/м<sup>3</sup> и 0,15 мг/м<sup>3</sup>.

Важную роль в загрязнении атмосферного воздуха играют нефтепродукты – сложные смеси углеводородов, содержащие органические соединения других классов. Основными элементами в составе нефти являются углерод – 83-87% и водород – 12-14%. Из других элементов в состав нефтепродуктов в определенных количествах входят сера, азот и кислород. В состав нефти также входят: алканы – парафины, циклоалканы – нафтены, ароматические углеводороды, асфальтены, смолы и олефины. Кроме того, нефть, как правило, содержит незначительные количества микроэлементов. В составе нефти идентифицировано свыше 1000 индивидуальных соединений.

К нефтепродуктам относят разные углеводородные фракции, получаемые из нефти. Но в более широком смысле понятием «нефтепродукты» принято обозначать товарное сырье из нефти, прошедшее первичную обработку. Продукты переработки нефти используются в различных видах хозяйственной деятельности: бензинные топлива – авиационные и автомобильные, керосинные топлива – реактивные, тракторные, осветительные, дизельные и котельные топлива, мазуты, растворители, смазочные масла; гудроны; битумы, парафин, нефтяной кокс, нефтяные кислоты и др.

Нефть характеризуется содержанием легких фракций парафина и серы. Легкие фракции обладают повышенной токсичностью для живых организмов, их низкотемпературная испаряемость способствует быстрому самоочищению. Так, например, пары парафина в воздухе не оказывают сильного токсического дей-

ствия на живые организмы, но благодаря высокой температуре застывания, парафин существенно влияет на физические свойства почвы. Сера увеличивает опасность сероводородного загрязнения почв.

В особую группу целесообразно выделить углеводороды, которые являются газами без цвета и с характерным запахом. Их молекулярная масса варьируется от 16,04 до 44,09. Плотность углеводородов при температуре 0°C и давлении 760 мм рт.ст. составляет от 0,7168 до 2,019 кг/м<sup>3</sup>, температура кипения от -162°C до -42°C, критическая температура от -82°C до +96,8°C, критическое давление от 4,12 до 4,49 МПа.

Из углеводородов наиболее опасны полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), известные своими канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами – бенз[а]антрацен и крисен, бензо[б]флюорантен, бензо[*j*]флюорантен, бензо[к]флюорантен, бензо[а]пирен, бензо[ghi]пирилен, коронен, дибенз[а,h]антрацен, индено[1,2,3-cd]пирен и овален.

При воздействии углеводородов на организм человека наблюдаются поражения центральной нервной системы, эндокринного аппарата, сердечно-сосудистой системы, снижение в крови содержания гемоглобина и эритроцитов. В воздухе рабочей зоны производственных помещений ПДК углеводородов составляет 300 мг/м<sup>3</sup>, в атмосферном воздухе города максимальная разовая ПДК – 900 мг/м<sup>3</sup>, а среднесуточная ПДК – 300 мг/м<sup>3</sup>.

Следующим классификационным признаком загрязняющих веществ является уровень их негативного воздействия на окружающую среду, что отражено в классификации по токсичности, предусматривающей 4 класса. Именно эта классификация прежде всего учитывает химические свойства загрязняющих веществ и базируется на учете величин средней смертельной дозы вещества при его поступлении в организм человека через дыхательные пути (ингаляционно), кожу (перкутанно) или желудочно-кишечный тракт (перорально) [9].

При отнесении загрязнителя к тому или иному классу токсичности принимают во внимание тот путь проникновения в организм, при котором загрязняющее вещество оказывается наиболее токсичным. По степени токсичности загрязняющие атмосферный воздух вещества, обладающие ярко выраженными химическими свойствами (токсиканты), делят на [10]:

- чрезвычайно токсичные (I класс);
- высокотоксичные (II класс);
- умеренно токсичные (III класс);

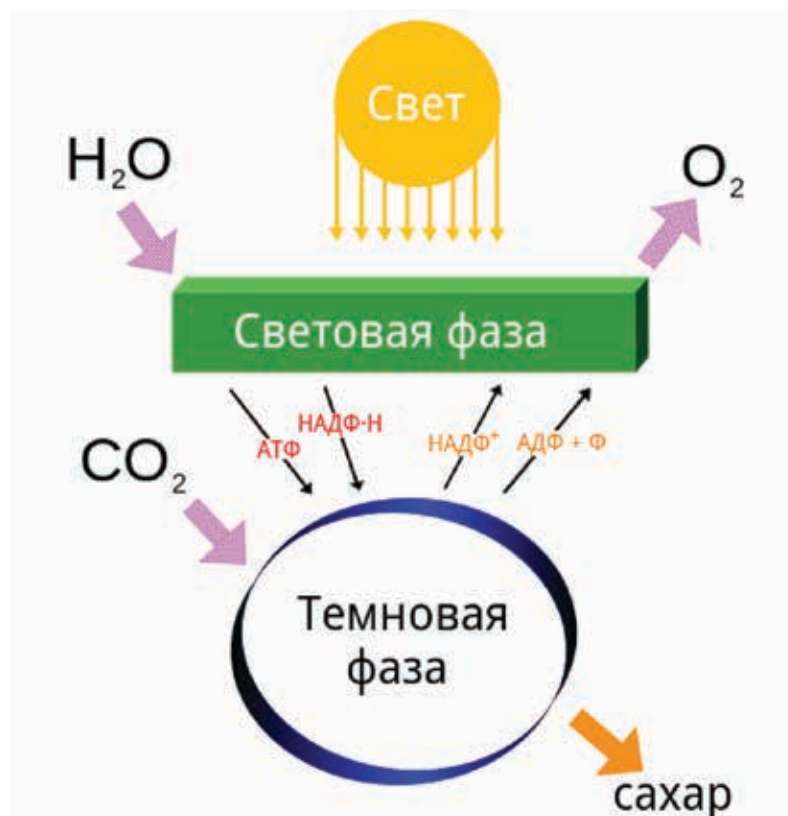
- малотоксичные (IV класс).

Степень токсичности вещества, попавшего в организм из воздуха, зависит от количества (дозы) вещества, осевшего в организме, путей его поступления, распределения и выведения из организма; физических свойств и длительности поступления вещества, взаимодействия с клеточными структурами, пола и возраста человека, его индивидуальной чувствительности к токсиканту.

Для устранения патологического действия большого количества токсичных соединений на земные организмы природа сама располагает набором естественных технологий, в число которых входят детоксикационный потенциал микроорганизмов и растений, климатический и температурный факторы воздействия на структуру токсикантов (осадки, изменения температуры, зима, лето), окислительные процессы под воздействием кислорода воздуха. К числу специфических экологических процессов может быть отнесен и процесс фотосинтеза, осуществляющий утилизацию колоссального количества двуокиси углерода. Фотосинтез: растение + солнечная энергия → органическое соединение + кислород – является одним из важнейших естественных процессов, определяющих существование жизни на нашей планете, который не имеет аналога. Фотосинтез – процесс, используемый растениями и некоторыми другими хлорофилло-содержащими организмами для преобразования энергии света в химическую энергию. Посредством фотосинтеза зеленые растения, водоросли, диатомовые водоросли и определенные формы бактерий синтезируют из углекислого газа и воды в присутствии хлорофилла углеводы, используя энергию, улавливаемую хлорофиллом от солнечного света, и выделяя избыток кислорода как побочный продукт – рисунок 2.

За счет квантовой энергии света, падающего на хлорофилл, генерируется АТФ – форма энергии, используемая клеткой, и происходит фоторазложение воды – световая фаза. Образующийся водород используется для восстановления НАДФ-Н (никотинамид-β-аденин динуклеотид фосфат), при участии которого углекислый газ восстанавливается до глюкозы в темновой фазе. Источником энергии в этих реакциях синтеза является АТФ. Кислород, образующийся при фоторазложении воды, выделяется в атмосферу.

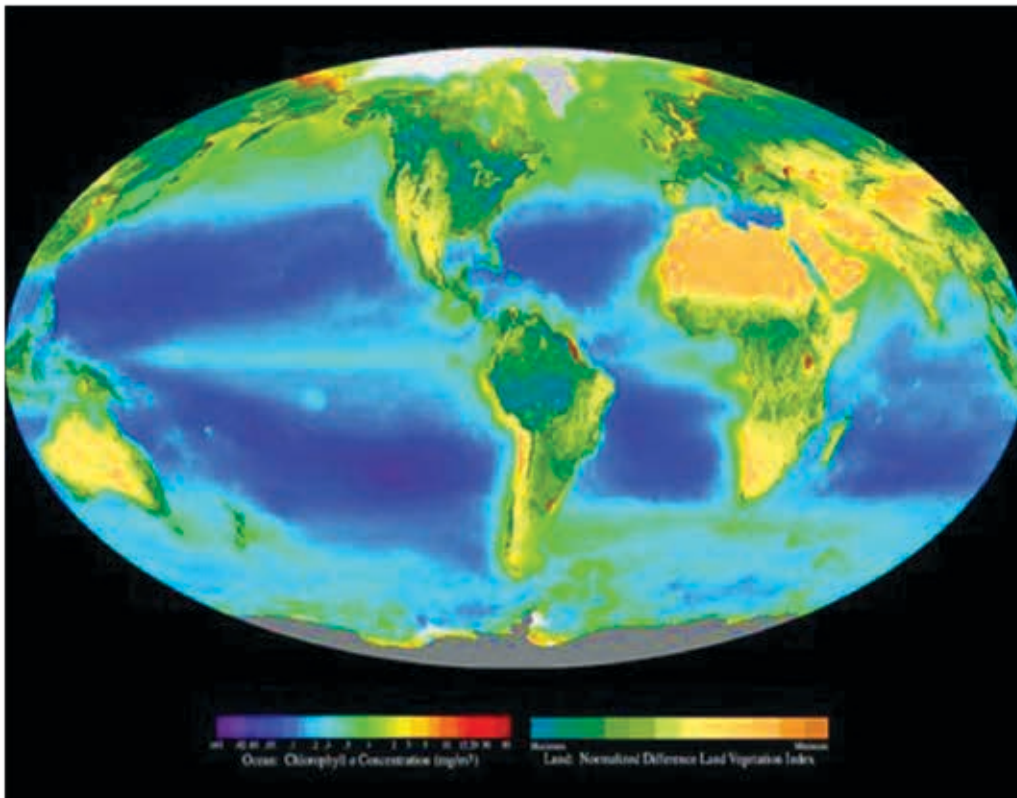




**Рис. 2.** Процесс фотосинтеза – Дэниел Майер – оригинальное изображение Векторная версия от Yerro

Растения, усваивая углекислый газ и перерабатывая его в органические соединения, в значительной степени определяют экологический баланс планеты и, соответственно, создают элементарно требуемые условия для существования живых организмов. Основным субстратом фотосинтеза, диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), по сравнению с угарным газом (CO), образуется в гораздо больших количествах и как неорганическое загрязняющее вещество представляет для окружающей среды значительно меньшую опасность. Согласно имеющимся данным, в результате интенсивной индустриализации количество диоксида углерода в окружающей среде постоянно повышается и достигло таких масштабов, что возникают проблемы, связанные с потенциалом его фотосинтетического преобразования.

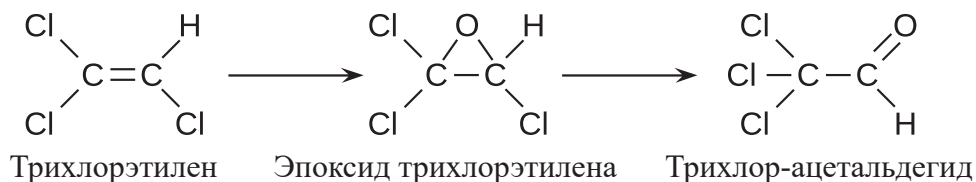
На рисунке 3 зеленым цветом представлены регионы планеты, активно осуществляющие фотосинтез. Из рисунка понятно, что для возможного усиления процесса фотосинтеза на планете использован далеко не весь его потенциал.



**Рис. 3.** Карта глобального распределения фотосинтеза, включая океанический фитопланктон и наземную растительность [11].

Из других многочисленных токсичных загрязнителей окружающей среды можно привести следующие. К числу широко распространенных в атмосферном воздухе хлорированных углеводородов, активно действующих на печень, относится и трихлорэтан – ТХЭ. Этот растворитель используют главным образом для обезжиривания поверхностей металлов, в качестве растворителя для ряда веществ, в том числе природного происхождения. В небольших количествах ТХЭ находит использование в органическом синтезе. Подсчитано, что около 90% всего производимого ТХЭ оказывается в воздухе, а остальная доля – в твердых отходах и сточных водах. ТХЭ чрезвычайно устойчив в аэробных условиях. В морской воде период его полураспада составляет около 90 недель, а в пресной воде – от 2,5 до 6 лет. Под действием анаэробных бактерий период полураспада ТХЭ сокращается до 40 дней – при этом часть ТХЭ претерпевает распад до  $\text{CO}_2$ .

Токсичное действие ТХЭ на животные организмы обусловлено его метаболическими превращениями, обычно катализируемыми монооксигеназами. Сначала ТХЭ превращается в эпокисоединение, которое в дальнейшем преобразуется в трихлорацетальдегид (рисунок 4).



**Рис. 4.** Ферментативные превращения трихлорэтилена в животных организмах

Помимо альдегида в организме могут образовываться трихлоруксусная кислота, трихлорэтанол и хлоральгидрат. Трихлоральдегид является мутагенным веществом: активно реагируя с ДНК, вызывает ее структурные изменения.

Вышеприведенный перечень загрязнителей атмосферного воздуха, конечно, не является исчерпывающим, но следует подчеркнуть, что распространенные в разных регионах планеты загрязнители довольно разнообразны по своей структуре, функции и степени токсичности. Несомненно, атмосферный воздух является довольно чувствительной составной частью экосистемы, требующей постоянного, особого внимания.

С целью очистки воздуха, как атмосферного, так и внутри помещений, разрабатывается ряд инновационных технологий. Так, компания Airocide специально для NASA разработала технологию очистки воздуха внутренних помещений, не связанную с химией и, в частности, с озоном. В ней исследуется возможность регулирования содержания в воздухе этилена, образуемого в результате выращивания и хранения большого количества злаков в закрытых помещениях. По данным фирмы Rotok, разработанная ими технология инактивирует все таксономические формы микроорганизмов воздуха – бактерии, грибы, вирусы – более чем на 99%, быстрее, чем за одну секунду. Инновационная технология с успехом может быть использована при производстве пищевых продуктов.

## 1.4 Почва

Почва является неоценимым природным богатством человечества, а точнее – фундаментом существования и участия в различных процессах живых организмов. Почва – единственная и благоприятная среда *Ворлдбиома* для обитания и размножения почвенных организмов: бактерий, грибов, водорослей, животных и растений. Организмы, населяющие почву, в результате осуществляемого ими обмена веществ обеспечивают ее плодородие. Например, бактерии, грибы и актинобактерии разлагают органические вещества до низкомолекулярных – неор-

ганических, которые растворяются в воде и в виде почвенного раствора поглощаются корнями растений. Растения, в свою очередь, выделяют так называемые экссудаты, способствующие жизнедеятельности микроорганизмов.

Почва и растения находятся в постоянном взаимном обмене веществ, вне этого симбиоза немислима жизнь этих организмов. Почва является важнейшей жизненной средой, опорой жизни растений, других почвенных организмов и человека. Из почвы живые организмы получают воду, а вместе с водой – соединения азота и все важные микроэлементы, необходимые для жизнедеятельности живых систем.

Роль почвы в жизни растения необычайно велика, несомненно, она является главенствующей. Из воздуха растение берет кислород, углекислый газ, небольшое количество воды; а минеральные вещества, всю органику, основную часть воды растения получают через почву. Без этого нужного комплекса питательных веществ растение не может развиваться и функционировать.

Особого внимания заслуживают биологические взаимоотношения между почвой и растениями, крайне плодотворные, заключающиеся в обогащении почвы экссудатами, выделяемыми из растений. Эти соединения значительно способствуют активации процессов почвенной микрофлоры. **Почва, в свою очередь, подготавливает органические и неорганические формы питательных веществ, обогащенные кислородом, трансформируя их в растворимые в воде соединения для полноценной усвояемости растениями.**

Растения способны использовать неорганические азотсодержащие соединения почвы для синтеза большого разнообразия соединений, включающих связанный с углеродом азот, крайне важный для роста и плодородия растений. Примером многообразной деятельности растительных клеток может служить характерный для растений синтез в большом количестве таких важных и уникальных компонентов, как низкомолекулярные соединения. Ряд из которых относят к т.н. вторичным метаболитам (фенольные соединения, эфирные масла, углеводы и др). Вторичные метаболиты, также называемые специализированными метаболитами, токсинами, вторичными продуктами, представляют собой органические соединения, вырабатываемые бактериями, грибами или растениями, которые непосредственно не участвуют в нормальном росте, развитии или размножении организма. Растения, по сравнению с другими организмами, образуют для собственных физиологических потребностей множество разнообразных

вторичных метаболитов. Интересно отметить, что в подавляющем большинстве растительные вторичные метаболиты характеризуются активностью. За последние пару десятилетий к этим хорошо известным важным характеристикам растений добавились новые, заключающиеся в оценке растений, почвенных микроорганизмов как экологических агентов, способных за счет высокой внутриклеточной активности окислительно-восстановительных, гидролитических и других ферментов удалять из почвы соединения токсичной природы. Этот путь деградации и, соответственно, удаления из почвы большого разнообразия токсичных структур на основе их метаболических превращений является наиболее перспективным, поскольку, будучи полностью естественным, не нуждается в использовании особых условий или экологически вредных химических соединений [12].

Важнейшей способностью некоторых растений, в частности бобовых, является их симбиоз с почвенными бактериями рода *Rhizobium*, которые способны усваивать молекулярный азот воздуха.

Хотя атмосфера Земли на 78,03% состоит из азота, но этот инертный газ –  $N_2$  – способны улавливать и усваивать только азотфиксирующие бактерии, свободноживущие и симбиотические. Обычно бактериями в симбиозе с бобовыми растениями усваивается 100-300 кг молекулярного азота на гектар посевной площади, в то время как свободноживущие бактерии – азотфиксаторы на той же площади усваивают только 1-3 кг азота той же формы.

Необыкновенно широкий мир растений – *Planta, Vegetabilia*, обитающий в почве, относится к домену эукариоты. Среди прокариотов есть целый ряд автотрофных организмов, способных использовать солнечную энергию. Это пурпурные *Rhodospirillum* и сине-зеленые, или водоросли, называемые также цианобактериями. У них процесс фотосинтеза протекает, как и у растений, с выделением кислорода, в то время как у пурпурных бактерий в процессе фотосинтеза кислород не выделяется.

Неоспоримо, что почва и ее плодородность, после того как человек начал обрабатывать землю даже самым примитивным способом, является неоценимым природным богатством человечества. Мир растений и микроорганизмы, населяющие почву и осуществляющие ее преобразования, являются фундаментом жизни всех организмов, живущих на планете. Доказано, что происходящие в почве биохимические процессы самым тесным образом связаны и с экологией всей

планеты, и микрофлорой в почве; а растения и микроорганизмы в результате происходящих в почве превращений симбиотически осуществляют и деконтаминацию вредных соединений, в том числе и токсичной природы [13,22].

Полезная толщина почвы для аграрных, декоративных, спортивных и других целей в разных регионах планеты колеблется от 20-25 до 150 см. Существующий в этих пределах почвенный слой, окружающий большую часть Земли, вместе с солнечной энергией и необходимым количеством осадков является основным фундаментом существования жизни. О важности экологического состояния почвы говорит тот факт, что существование здорового поколения людей возможно только в условиях здоровой почвы. Почва, в которой наблюдается постоянно происходящая диффузия продуктов почвенного метаболизма между его отдельными слоями, представляет собой сложную природную систему. Ее минимальными составляющими компонентами являются минеральные и органические соединения, вода, воздух; микроорганизмы, необходимые как факторы, отвечающие за полифункциональную активность почвы. В результате постоянно происходящих в почве биологических, химических, фотохимических и стехиометрических процессов осуществляется самообновление почвы, деградация чужеродных неорганических и органических соединений и синтез новых, характерных для существующих почвенно-климатических условий. Тем самым почва сохраняет привычную плодородность. Для самоформирования полноценной почвы требуется длительное время, предположительно, не менее десяти лет, в зависимости от почвенно-климатических условий. В условиях активно проходящих, характерных для почвы естественных процессов, будучи доминантной и функционально активной, полезная микрофлора почвы сравнительно редко содержит патогенные почвенные организмы (бактерии, вирусы, грибы). Одним из замечательных свойств почвы является ее способность к самоочищению, благодаря которой она эволюционирует, адаптируясь к условиям окружающей среды. Различают следующие типы почв: песчаные, суглинистые, известняковые, торфяные, подзолистые, дерново-подзолистые, мерзлотно-таежные, серые лесные, черноземы, каштановые, бурые почвы, тундро-глеевые почвы и т.д., всего их не менее 28.

Чрезвычайно важно, чтобы здоровая почва, как один из основных компонентов окружающей среды и важная биологическая система, влияла и на микроклимат региона. Эта способность обусловлена рядом факторов: наличием

растений, почвенной микрофлорой, другими почвенными организмами, что обеспечивает высокую стабильность «иммунной» системы почвы, препятствуя распространению патогенной микрофлоры, эрозии, заболачиванию и других нежелательных факторов.

Совершенно справедливо будет отметить, что здоровая и нормально функционирующая почва является важным составным элементом «иммунной» системы всей природы и вместе с тем играет колоссальную экологическую роль. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН – Food and Agriculture Organization – за 2019 год, почва ежегодно дает нам более 760 млн т пшеницы, 510 млн т риса, 1100 млн т кукурузы, 350 млн т картофеля, 175 млн т сахара, 335 млн т мяса, 852 млн т молока и множество другой аграрной продукции.

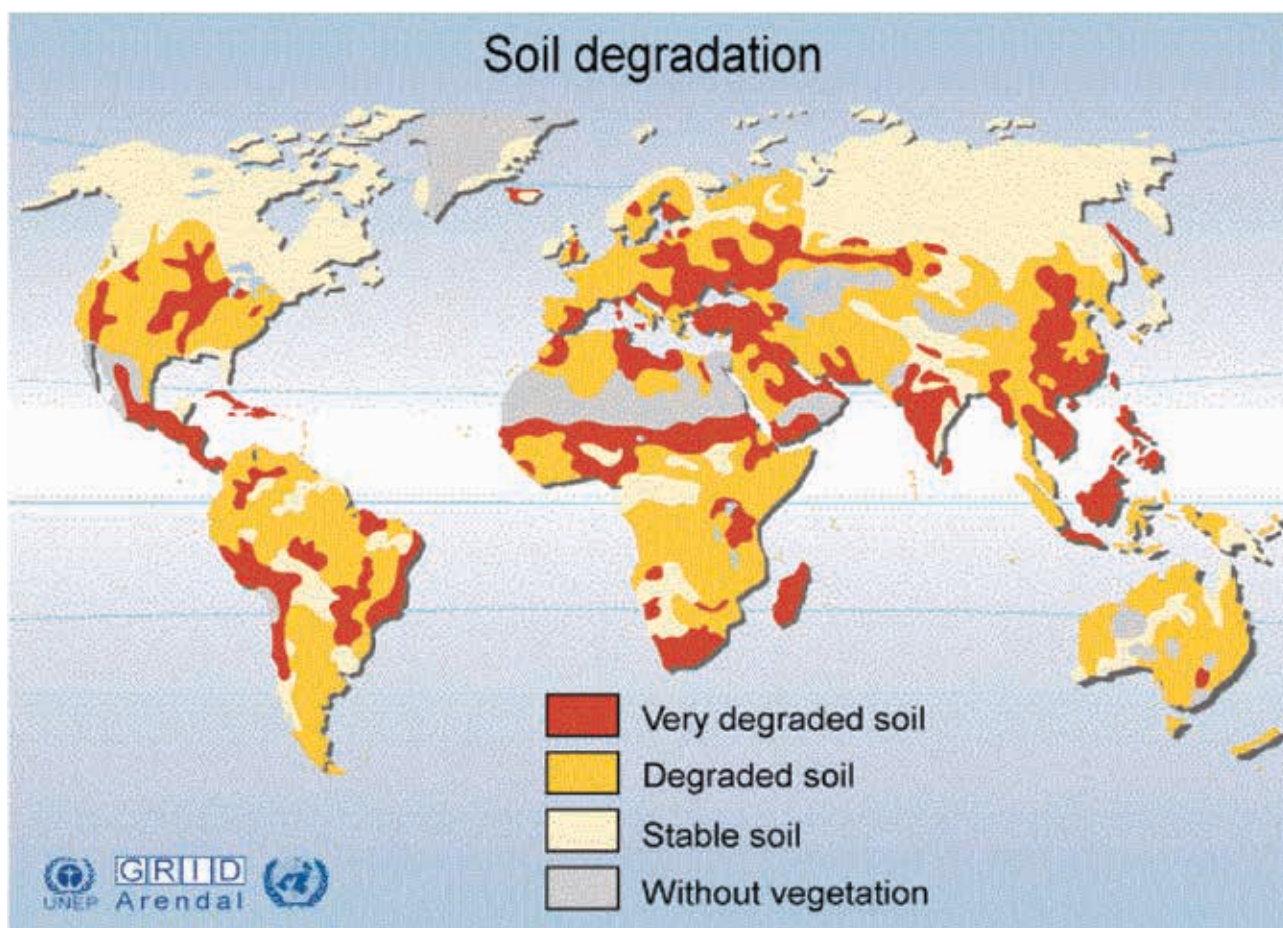
Признано, что экологическое состояние почвы за последние 100 лет ухудшилось. Эти данные в цифрах выражаются следующим образом: пока примерно чуть более 40% суши планеты покрыто растительностью; фактически эрозии подвержено почти 2 млрд га, а опустыниванию – 4,5 млрд га; ежегодно из-за эрозии теряется 24 млрд тонн плодородных почв (<https://www.fao.org/in-action>). Забираемая лесами площадь сокращается в среднем на 10 млн га в год. В современных условиях на душу населения планеты приходится чуть более 0,4 га почвы, и этот показатель имеет тенденцию к постоянному снижению. В настоящее время подавляющее большинство земель активно эксплуатируется, а новых, готовых к использованию плодородных почвенных угодий, пригодных для земледелия, на планете почти не осталось.

**Согласно прогнозам, через 3 десятилетия наличие земли для аграрных целей – культивирования злаковых, фруктовых насаждений и др. – на душу населения снизится до 0,1 га, что очевидно явится критическим уровнем и началом экологической и продовольственной катастрофы.**

Почва на самом деле чрезвычайно сложная, изменчивая и живая системная среда, абсолютно необходимая для жизни на Земле. В ней содержится 25% мирового биоразнообразия, вдвое больше углерода, чем в атмосфере; около 95% пищевых продуктов – прямо или косвенно – связано с почвой.

Причиной ухудшения состояния почвы как важнейшей экологической ниши является влияние ряда внешних факторов, к числу которых следует отнести наличие в почве постоянно увеличивающихся техногенных токсичных соединений

различной стабильности и структуры. Тот факт, что промышленность и экологическая обстановка являются имманентно взаимоисключающими факторами, не вызывает сомнений. Поэтому особое внимание следует обратить на создание новых дружественных природе зеленых технологий. Для сохранения приемлемого регионального экологического баланса ряд развитых стран переносит производства экологически вредных отраслей промышленности в развивающиеся страны (рисунок 5).



**Рис. 5.** Экологическое состояние почв всей планеты (Карта разработана United Nations Environment Programme, GRID Arendal <https://www.grida.no/resources/5507> ).

Принимая во внимание высокую эмиссию токсичных соединений в окружающую среду и их высокую стабильность к абиотическим условиям, а также вероятность их долговременного присутствия в почве, неизбежна деградация верхнего слоя и сопутствующие процессы эрозии почвы: засоления, опустынивания, заболачивания. Причинами этих процессов являются токсичные выбросы, отходы энергетических комплексов, химических, металлургических, нефтеперерабатывающих предприятий, токсичные выхлопы автомобильного и других видов транспорта, интенсивное сельское хозяйство. Исходя из масштабов развития



промышленного производства в развивающихся странах, большого количества новых промышленных предприятий и реализованных технологий, фактор техногенного загрязнения, как локального, так и глобального характера, значительно усиливается и уже приобрел угрожающий характер.

На Земле уже давно выявлены регионы, где уровень загрязнения почвы некоторыми токсичными соединениями значительно превышает предельно допустимую концентрацию. Таковыми являются: Аккра (Гана), Ранипед и Сукинда (Индия), Кабве (Замбия), Дакка (Бангладеш), Карабаш и Дзержинск (Россия) и другие. К странам, находящимся в тяжелой экологической ситуации, по международной классификации относятся: Саудовская Аравия, Кувейт, Бахрейн, Катар, Арабские Эмираты, Оман, Ливия. Все эти страны являются нефтедобывающими, а большинство из них добывают и природный газ.

Значительный по территориальным масштабам вред окружающей среде и особенно почве наносят войны, перманентно идущие в разных странах мира. Огромный экологический ущерб, нанесенный окружающей среде только войнами XX-XXI века, остается неподсчитанным. Кроме видимых жертв и разрушений, характерных для войн, в условиях военных действий все компоненты окружающей среды, включая почву, а также другие экосистемы, загрязняются взрывчатыми веществами канцерогенной природы, агрессивными растворами и другими нехарактерными для почвы соединениями, в том числе компонентами химического и биологического оружия. Классическим представителем токсичных взрывчатых веществ канцерогенной природы является тринитротолуол (ТНТ) – он же тротил – один из компонентов вооружения воинских частей военных формирований всех стран мира. Это стабильное соединение, полученное химическим синтезом, содержит три нитрогруппы и проявляет высокую стабильность к биотическим и абиотическим воздействиям. При попадании в почву ТНТ годами сохраняет свою крайне высокую токсичную, неестественную структуру, причиняя большой ущерб почве. Обычная микрофлора почвы, однолетние и многолетние растения вместе с почвой не могут быстро и полностью обезвредить ТНТ, потому что на начальном этапе деградации требуется восстановление нитрогрупп. Нужно учитывать также, что высокую токсичность имеют и промежуточные продукты частичного превращения ТНТ.

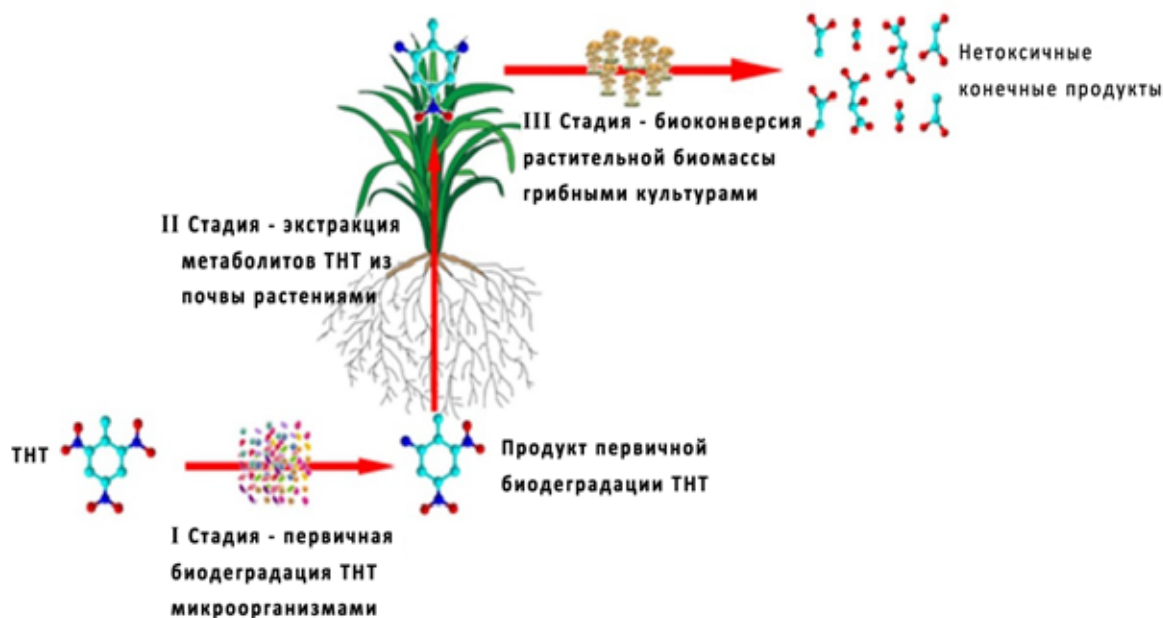
В этом контексте нельзя не упомянуть и химическое оружие, полученное химическим синтезом и состоящее из активных химикатов, ядов и других биологически агрессивных компонентов, что существенно осложняет в естественных

условиях их биологическое обезвреживание ферментными системами микроорганизмов и растений.

Все составляющие компоненты окружающей среды и экосистемы воюющей или послевоенной страны, включая почву и водные ресурсы – озера, пруды, подземные воды, ввиду наличия в почве большого количества токсичных соединений в виде взрывчатых веществ, а также токсичных продуктов их частичной биотрансформации, требуют серьезного экологического контроля и осуществления ремедиационных мероприятий.

В этом отношении примером может служить ремедиация почв, содержащих ТНТ. Технология деконтаминации почвы разработана с участием авторов данного издания и заключается в комбинированном подходе, с использованием фиторемедиационных технологий для почв, загрязненных ТНТ. Суть этой инновационной биотехнологии заключается в трехступенчатом процессе биологической обработки почв и ремедиации в следующей последовательности (рисунок б):

- на первой стадии вносят специально для этих целей подобранные ризосферные микроорганизмы, которые в околокорневой системе осуществляют начальную трансформацию взрывчатых веществ, превращая их в сравнительно менее токсичные, более гидрофильные соединения, которые легче усваиваются растениями;



**Рис. 6.** Схема трехстадийной биотехнологии для ремедиации почв, загрязненных ТНТ

- на второй стадии – «экстракция» – специально подобранные для этой цели растения, имеющие высокий фиторемедиационный потенциал, эффективно уда-

ляют из почвы продукты частичного превращения взрывчатых веществ и, в конечном итоге, накапливают их преимущественно в надземных частях растений;

- на третьей стадии – «биоконверсия» – остатки растений, используемые в фиторемедиации, обрабатываются культурами базидиальных грибов, которые полностью разрушают углеродный каркас токсических остатков взрывчатых веществ в растительной биомассе, чем достигается максимальная степень обезвреживания ТНТ и продуктов его частичной деградации путем их трансформации в нетоксичные метаболиты.

Высокотоксичные, загрязняющие почву вещества по назначению делятся на следующие группы: пестициды – сельское хозяйство, нефтепродукты – химическая и нефтехимическая промышленность, химическая промышленность, строительная и машиностроительная индустрия, полимерные материалы – растворители и красители, моющие средства – системы автосервиса и бытового обслуживания, взрывчатые вещества – военно-промышленный комплекс, горнодобывающая промышленность, пиротехника.

Пестициды – общее название средств химической защиты растений, используемых для борьбы с сорняками, вредными насекомыми, фитопатогенными грибами и заболеваниями растений. Большинство из них имеют структуры, ответственные за токсичную природу соединений.

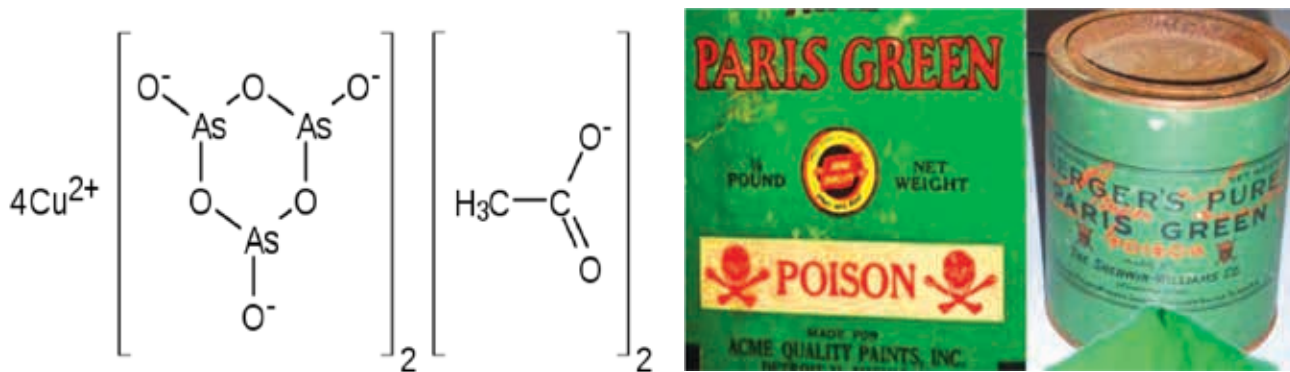
К пестицидам относится более чем 1000 представителей самых разных классов химических соединений. В мировом масштабе производство и употребление пестицидов измеряется сотнями миллионов тонн в год, достигая миллиарда. По типу действия пестициды обычно разделяют на следующие группы [14]:

- альгициды – применяются в борьбе против водорослей;
- акарициды – средства против клещей;
- аттрактанты – средства для приманивания паразитов, насекомых и грызунов;
- бактерициды, биоциды, дезинфектанты и санитайзеры – используются для уничтожения микроорганизмов и, в частности для защиты от бактериальных заболеваний;
- гербициды – для уничтожения сорной и ядовитой растительности;
- десиканты – химикаты, способствующие высушиванию корней нежелательных растений;
- дефолианты – предназначены для ускорения опадания листьев, обычно применяются для облегчения сбора урожая;

- инсектициды – средства против насекомых;
- моллюскициды – для защиты подводных поверхностей от улиток;
- нематоциды – применяются с целью защиты от вредных нематод, круглых червей;
- овициды – употребляются для уничтожения яиц насекомых и червей;
- репелленты – средства, отпугивающие вредителей, включая насекомых (таких как москиты) и птиц;
- родентициды – средства для борьбы с грызунами;
- регуляторы роста растений – изменяющие скорость роста, цветения и репродуктивность растений;
- феромоны – средства против размножения насекомых;
- фумиганты – препараты для уничтожения вредителей в зданиях и/или почве;
- фунгициды – средства для защиты от грибковых заболеваний и плесени.

Пестициды классифицируют как неорганические и органические соединения. Подавляющее большинство из них являются соединениями токсичной природы. Во избежание нежелательного продолжительного действия на почву, их использование должно иметь ограниченный срок, после чего они должны подвергаться деградации/биodeградации на составные экологически безвредные компоненты. В основном, из-за того, что они являются структурами, полученными химическим синтезом, их биodeградация гидролитическими и окислительными ферментами почвенных микроорганизмов и корневой системы растений не всегда осуществима. В последнее время возросшее внимание уделяется биопестицидам, полученным микробиологическим синтезом, биodeградебельным соединениям, значительно быстрее разлагаемым почвенной микрофлорой.

Среди неорганических пестицидов наиболее распространенными являются соединения меди – медный купорос и основные сульфаты меди, применяемые в бордоской жидкости; фтора – фторид натрия, кремнефториды натрия, калия, аммония, цинка, магния; мышьяка – арсениты и арсенаты натрия и кальция, ацетат-арсенит меди (II) – т.н. «парижская зелень» (рисунок 7), гидроарсенат свинца и др., бария и ртути – в виде хлоридов и др. Также одним из важных неорганических пестицидов является сера и ее различные соединения. Например, элементарная сера в тонко измельченном виде – т.н. коллоидная сера – эффективно применяется против растительноядных клещей и мучнисторосяных грибов.



**Рис. 7.** «Парижская зелень» – ацетат-арсенит меди (II)

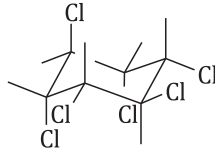
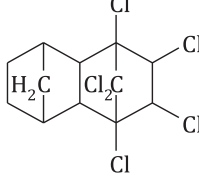
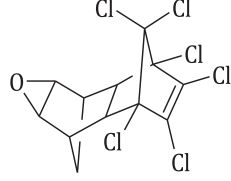
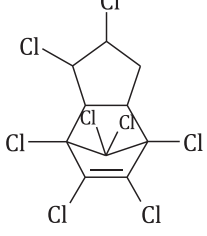
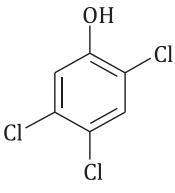
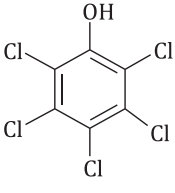
По характеру действия пестициды могут быть контактными и системными. К контактным пестицидам относятся те, которыми покрывают поверхность растений и таким образом предохраняют растения от действия вредителей. В большинстве случаев контактные пестициды не способны проникать во внутриклеточную систему растений. В отличие от них системные пестициды интенсивно проникают во внутриклеточную систему и распределяются вдоль всей длины растений, оказывая летальное воздействие на фитопатогенных насекомых и микроорганизмы.

Органические пестициды, полученные химическим синтезом, являются в основном хлорорганическими, фосфорорганическими, металлоорганическими. В ряде случаев их классифицируют по соединению, производными которых они являются: мочевины, фенокси кислоты, дипиридилы, алкалоиды – производные пиретрина – и др. В приведенной таблице представлены данные наиболее широко распространенных пестицидов (таблица 1).

### Названия, структурные формулы и назначение некоторых наиболее распространенных пестицидов

Таблица 1

Наименование	Назначение	Структурная формула и химическое название
1	2	3
<b>Хлорорганические соединения</b>		
ДДТ	Инсектицид против комаров, вшей, клопов и других разных вредных насекомых	<p>1,1,1-трихлор-2,2-бис (p-хлорфенил)этан</p>

<p><b>Линдан</b></p>	<p>Инсектицид против вредителей хлопчатника, риса, а также насекомых, разрушающих древесину</p>	 <p>1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексан (<math>\gamma</math>-изомер)</p>
<p><b>Алдрин</b></p>	<p>Инсектицид против муравьев, жуков и червей</p>	 <p>1,2,3,4,10,10-гексахлор-1,4,4<math>\alpha</math>,5,8,8<math>\alpha</math>-гексагидро-1,4:5,8-диметанофталин</p>
<p><b>Дильдрин</b></p>	<p>Инсектицид применения широкого спектра</p>	 <p>(1<math>a</math>R,2R,2<math>a</math>S,3S,6R,6<math>a</math>R,7S,7<math>a</math>S)-3,4,5,6,9,9-гексахлор-1<math>a</math>,2,2<math>a</math>,3,6,6<math>a</math>,7,7<math>a</math>-октагидро-2,7:3,6-диметанофто[2,3-<math>b</math>]оксирен</p>
<p><b>Хлордан</b></p>	<p>Инсектицид применения широкого спектра</p>	 <p>Октахлор-4,7-метаногидроиндан</p>
<p><b>2,4,5-Т</b></p>	<p>Дефолиант</p>	 <p>2,4,5-трихлорфенол</p>
<p><b>ПХФ</b></p>	<p>Инсектицид применения широкого спектра</p>	 <p>2,3,4,5,6-пентахлорфенол</p>

Фосфорорганические соединения		
<b>Карбофос (Мелатион)</b>	Инсектицид для уничтожения вредителей фруктовых деревьев, овощей, декоративных растений и комаров	$\begin{array}{c} \text{S} \quad \quad \quad \text{O} \\ \parallel \quad \quad \quad \parallel \\ \text{CH}_3\text{O}-\text{P}-\text{S}-\text{CH}-\text{C}-\text{OC}_2\text{H}_5 \\   \quad \quad \quad   \\ \text{OCH}_3 \quad \quad \text{CH}_2-\text{C}-\text{OC}_2\text{H}_5 \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \end{array}$ <p>О,О-диметил-S-1,2-дикарбэтоксидитиофосфат</p>
<b>Тиофос (Паратион)</b>	Инсектицид применения широкого спектра	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \parallel \\ \text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NO}_2 \\   \\ \text{OC}_2\text{H}_5 \end{array}$ <p>О,О-диэтил-О-<i>p</i>-нитрофенилтиофосфат</p>
<b>Триэтилфосфат</b>	Инсектицид применения широкого спектра	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$ <p>Триэтилфосфат</p>

Антропогенное загрязнение окружающей среды нехарактерными газообразными, жидкими и твердыми веществами остается острой экологической проблемой, имеющей приоритетное социальное и экономическое значение.

Нефтепродукты – это сложные смеси газообразных, жидких и твердых углеводородов и органических соединений других классов. Основными элементами, определяющими химический состав нефти, являются углерод – 83-87% и водород – 12-14%. Из других элементов в состав нефти в заметных количествах входят сера, азот и кислород.

Нефтепродукты, являясь одним из основных загрязнителей почвы, находят очень широкое применение в разных отраслях промышленности и в основном представлены различными углеводородными фракциями сырой нефти. Продукты переработки нефти, используемые в различных видах хозяйственной деятельности, имеют довольно широкий спектр. Это – бензинные, авиационные, автомобильные, керосинные, реактивные, тракторные, осветительные, дизельные и котельные топлива; мазуты; растворители; смазочные масла; гудроны; битумы; парафин; нефтяной кокс и др.

Ряд почвенных микроорганизмов – бактерии и мицелиальные грибы в водных растворах разлагают нефть на простые углеводороды. Тяжелые нефтяные фракции обладают повышенной устойчивостью к воздействию почвенной ми-

крофлоры, поэтому оседают почти в неизменном виде. Преобладание процессов превращения, миграции и аккумуляции нефтепродуктов в значительной степени определяется природно-климатическими условиями и биохимическими, физико-химическими свойствами и структурой самой почвы. При попадании нефти в почву происходят глубокие изменения химических, морфологических, физических, микробиологических свойств почвы, что приводит к значительному уменьшению плодородия, а иногда и к отторжению загрязненных территорий из аграрного использования.

Далеко не всегда растения в процессе формирования урожая способны полностью осуществить характерную для них окислительную деградацию углеводов, и, что крайне нежелательно, эти углеводороды вполне могут оказаться в пищевых продуктах. При попадании углеводов в организм человека наблюдаются поражения центральной нервной системы, эндокринного аппарата, сердечно-сосудистой системы, снижение содержания гемоглобина и эритроцитов в крови.

Широкомасштабное использование пестицидов вызывает загрязнение почв, грунтовых вод, рек, озер, водоемов и т.д. Пестициды и промежуточные продукты их трансформации способны попадать в пищевые продукты, вызывая разные заболевания и патологии в живых организмах.

По характеру действия, как в пределах структурных аналогов, так и межклассовых представителей, пестициды существенно различаются. Эти различия проявляются на уровне различных свойств: стабильности, растворимости в воде, перехода в газообразное состояние и в механизме их биологического и химического воздействия. Обычно пестициды распыляют по плантациям или вносят в почву. В почве пестициды в основном подвергаются анаэробным превращениям, в результате этих превращений атомы хлора замещаются гидроксильными группами, хотя это приводит к значительному уменьшению их биологической, токсикологической активности.

Особенно сильнодействующими токсикантами являются хлорорганические пестициды, такие как ДДТ, линдан, хлордан, диелдрин и др. Они способны легко попадать в организм человека, проникая через кожу или пищеварительный тракт, в результате чего повреждают нервную систему. ДДТ относится к числу чрезвычайно активных препаратов с инсектицидным действием. Это соединение впервые было синтезировано в 1874 году, а с 1930 года, после установления его



инсектицидных свойств, началось его интенсивное применение против возбудителя малярии – комара анофелеса.

Сильными фунгицидными, бактерицидными и инсектицидными свойствами характеризуется 2,3,4,5,6-пентахлорфенол, поэтому широко применяется для обработки закрытых помещений.

Карбаматы представляют собой производные карбаминовой кислоты, имеют общую формулу и относятся к пестицидам, среди которых некоторые действуют как инсектициды, фунгициды и моллюскоциды.

Органофосфатные пестициды, такие, как эфиры фосфорной и тиофосфорной кислот, например, инсектициды – алкилфосфаты, паратион и др., а также карбаматы – гербициды – барбан, бетанал; фунгицид – манеб и другие, действуют на нервную систему, блокируя ферменты, регулирующие активность нейротрансммиттера – ацетилхолина. Они являются сильными ингибиторами ацетилхолинэстеразы. Это влияет на передачу сигнала к нервным окончаниям с ацетилхолин-рецептором. Снижение активности фермента приводит к накоплению ацетилхолина, что, в свою очередь, в зависимости от дозы этого метаболита вызывает появление признаков таких болезней, как слюнотечение, отек легких, колики, понос, тошнота, ухудшение зрения, увеличение кровяного давления, мышечные спазмы и судороги, нарушение речи, паралич дыхательных путей.

Дипиридилы, например, гербицид паракват, уже при внешнем контакте с кожей вызывают образование волдырей и язв. При попадании в организм дипиридил повреждает почки и печень, а затем вызывает фиброзные изменения легких, приводящие к летальному исходу. Из-за высокой токсичности дипиридилы требуют крайне осторожного обращения.

Токсичными свойствами обладают также и пиретроидные пестициды, представляющие собой синтетические аналоги широко распространенного инсектицида пиретрина – соединения, выделенного из хризантемы.

Сырая нефть содержит сотни разных химических компонентов, более 75% которых приходится на углеводороды, остальную часть составляют производные углеводородов, содержащие серу, азот и кислород. Углеводороды нефти представляют собой парафины – 10-30%, циклопарафины или нафтены – 30-60%, ароматические и нафтено-ароматические углеводороды – до 5%.

Углеводороды постоянно подвергаются преимущественно окислительному разложению в результате действия почвенных микроорганизмов, а также в ре-

зультате фото- и химического окисления. Однако следует отметить, что пока не найден такой таксономический вид микроорганизмов, индивидуальный представитель которого имел бы способность ассимилировать все компоненты нефти. Микроорганизмы проще и быстрее усваивают алканы, а циклопарафины и ароматические углеводороды значительно медленнее поддаются ассимиляции микроорганизмами.

Полная деградация компонентов нефти возможна лишь при участии отдельных активных представителей микроорганизмов различных таксономических групп – бактерий, грибов, актинобактерий, что практически неосуществимо в широких масштабах почв, находящихся в природных условиях. Следует учесть, что микробиологическая трансформация углеводородов нефти приводит к образованию промежуточных соединений, чаще всего имеющих полярные функциональные группы – спирты, альдегиды и другие. Такие продукты трансформации углеводородов в морской воде растворяются легче, чем сами углеводороды нефти, и поэтому представляют опасность для жизни морских организмов, усваивающих эти соединения. Важными факторами, влияющими на процессы микробиологического разложения нефти, являются: температура, содержание питательных веществ, в основном органики, и парциальное давление кислорода в воде.

Оценивая состояние почвы в масштабе всей планеты, следует отметить, что приблизительно 40-45% населения планеты живет и работает на сильно деградированных сельскохозяйственных землях. Восстановление функциональности почв путем увеличения органического углерода, удалением токсичных контаминантов, балансом питательных веществ существенно облегчит обеспечение продовольственной безопасности, регулирование климата, улучшит качество и увеличит количество малосольной воды, обеспечит биологическое разнообразие почвенного покрова [15-17].

По некоторым данным, процесс ремедиации растениями воздуха, воды и почвы определяется рядом факторов: наличием и интенсивностью света, температуры, набором почвенных микроорганизмов, обладающих способностью взаимодействовать с тяжелыми металлами, переводя их в растворимые соединения, используемые растениями для роста и участия в процессе фотосинтеза.

Совместное действие микроорганизмов и растений можно представить, как двустороннее экологическое оружие, разными механизмами осуществляющее детоксификацию экологических ниш природы.

Прямым индикатором экологического состояния крупного региона, как и всей планеты, является многообразие всех форм живых организмов.

## 1.5 Вода

Технический и технологический прогресс прошедшего столетия создал ряд экологических проблем, в первую очередь, в отношении питьевой воды, заразив ее нехарактерными и вредными компонентами. Почти любое вещество, растворенное в воде, если это не лекарственное средство или смесь для технического или аграрного использования, является загрязнителем. Вода – это уникальная субстанция, обладающая ни с чем не сравнимыми физико-химическими и биологическими свойствами. Особенность питьевой воды состоит в том, что прежде, чем быть использованной, она проходит ряд естественных процессов, подвергаясь не только очистке, но и обогащению органикой и ионами металлов. Многостадийность естественной обработки воды является основой ее полноценности и различия химического состава питьевой воды в разных географических и почвенно-климатических условиях. Вода являет собой подвижную и легко заражаемую систему с выраженным набором аномальных свойств, в зависимости от рода действий на нее окружающей среды. В химически чистом виде воды в природе не бывает, химически чистую воду получают специальной обработкой для нужд медицины и научных исследований.

К воде слово «исключительно» можно применять бесконечно. Она является исключительным растворителем, в ней растворяется подавляющее большинство веществ в любом агрегатном состоянии: в жидком, твердом и газообразном. Что касается вредных и радиоактивных веществ, на всей планете их становится все больше и больше, что, к сожалению, отражается и на качестве воды.

Живые организмы без воды существовать не могут. Вода является структурным компонентом всех клеток и тканей. У человека общее содержание воды составляет около 60% всей массы тела. Вода входит в состав цитоплазмы клеток и тканевой жидкости. Тканевая жидкость служит посредником между клеточными элементами тела и кровью, из нее клетки получают все питательные вещества и ей же передают продукты обмена веществ.

Вода – обязательный компонент многих метаболических реакций: гидролиза, окисления, синтеза, химических перегруппировок, гидратации и других. Она

участвует в осуществлении анаболических и катаболических процессов, в частности: расщеплении макромолекул и некоторых других пищевых компонентов; синтеза; характерных для организма высокомолекулярных и вторичных метаболитов с использованием неорганических компонентов. Вода принимает непосредственное участие во многих химических реакциях и преобразованиях, связанных с функциональной активностью всех компонентов клетки. Водорастворимость обуславливает нормальное протекание клеточного обмена веществ, столь важного для всех физиологических процессов. Вместе с водой транспортируются и выделяются из организма продукты метаболизма, образовавшиеся в клетках. Вода принимает непосредственное участие в регуляции теплового баланса организма – сохранение, распределение и выделение тепла.

Вода – совершенно необходимый и незаменимый компонент технологических процессов практически всех отраслей современной промышленности.

В XXI веке одной из важнейших задач человечества является пополнение запасов питьевой воды и ее рациональное использование. Несмотря на это, более одной трети населения мира уже испытывает нехватку или острую нехватку воды. Для этого есть свои причины: дефицит воды, в первую очередь, вызван непрогнозируемым ростом населения и, соответственно, систематическим увеличением расхода воды. За последние 100 лет количество стран, испытывающих дефицит воды, превысило 80, анализ данных, касающихся ежедневного использования существующего объема питьевой воды, подтверждает эту тенденцию.

Уже сейчас в отдельных регионах мира использование воды поставлено на грань катастрофы. Большое количество водоемов, больших и малых рек всех континентов содержит не соответствующую по чистоте, порой просто непригодную для питья воду.

На Земле пока еще имеется довольно большой запас воды, превышающий 1400 млн км<sup>3</sup>. Несмотря на это, удельный объем пресной воды составляет приблизительно 35 млн км<sup>3</sup>, то есть 2,5% от общего запаса. В создавшейся ситуации в масштабе всей планеты особое значение приобретает опреснение морской воды. Исходя из прироста населения планеты – около 100 млн человек в год, к 2035 году население планеты составит около 9 млрд человек, что очевидно тоже не является пределом. Если сегодня годовой расход воды на душу населения в целом по миру составляет 490 м<sup>3</sup>, то в связи с предполагаемым ростом населения станет необходимым значительное пополнение запаса пресной воды.

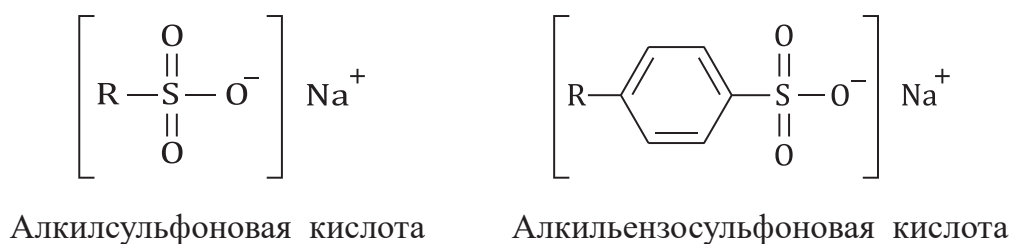
В настоящее время около 70% неинфекционных заболеваний вызвано несоответствующей требуемым нормам чистоты водой. В результате многолетних наблюдений установлено, что основной причиной почти 80% заболеваний является использование некачественной воды. Данные о распространении передаваемых водой заболеваний таковы: малярия – 800 млн больных, трахома – 500 млн, шistosомоз – 200 млн, гастроэнтериты – 400 млн. Из-за гастроэнтеритов ежегодно погибают 4 млн детей и 18 млн взрослых. В целом болезни 2 млрд людей, то есть более 25% населения всей планеты, вызваны некачественной водой.

Определяя качество питьевой воды, следует отметить требуемое наличие в воде определенной части органики и неорганических химических элементов, что далеко не всегда имеет место. Особое значение придается содержанию в питьевой воде солей кальция и магния, определяющих ее жесткость, хотя их максимально допустимые дозы нормированы законодательством. Что касается физиологической полноценности воды, то содержание в ней кальция должно составлять 25-130 мг/л, а магния – 5-65 мг/л. При продолжительном потреблении высокоминерализованных вод развиваются мочекаменные болезни, патологии, вызванные дисбалансом различных видов солей, сердечно-сосудистые заболевания, гипертония, преждевременные роды, частые аборт и др. При потреблении воды с низкой минерализацией отмечаются заболевания, вызванные дефицитом калия и магния, что, в первую очередь, негативно отражается на сердечно-сосудистой системе. Кроме того, качество воды в любой части мира должно соответствовать специфическим характеристикам, которые положительно влияют на здоровье человека, и соответствовать органолептическим, химическим и микробиологическим требованиям. Химический состав воды весьма многообразен. В воде может определяться малая концентрация железа, йода, цинка и др. Кроме того, в воде встречаются такие нежелательные соединения, которые имеют антропогенное происхождение.

Техническая вода, используемая в промышленности, также должна отвечать специфическим требованиям по отношению к возможным примесям. Причинами антропогенного загрязнения водных объектов и подземных вод являются сточные воды бытовой и промышленной канализации, содержащие моющие и дезинфицирующие средства, и другие нехарактерные компоненты. Вода, используемая в аграрных целях, часто содержат следы пестицидов, удобрений, инсектицидов.

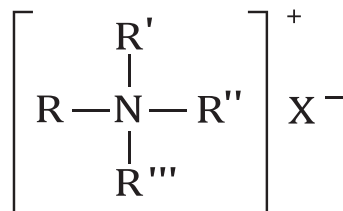
Моющие средства включают большую группу органических соединений с высокими поверхностно-активными свойствами, являющихся веществами, загрязняющими водные объекты. Поверхностно-активными веществами – ПАВ или детергентами-тензидами – являются вещества, относящиеся к разным химическим классам, для которых характерно наличие в структуре гидрофильных и гидрофобных участков.

В основном детергенты делят на три группы – анионные, катионные и нейтральные ПАВ. Например, к анионным ПАВ принадлежат алкилсульфоновые кислоты, имеющие гидрофильную группу в виде остатка серной кислоты (рис. 8)



**Рис. 8.** Алкилсульфоные кислоты

К катионным ПАВ относятся алкиламмониевые соединения, имеющие четвертичную аммониевую группу в качестве гидрофильного участка, данные рисунка 9.



**Рис. 9.** Алкиламмониевые ПАВ. R, R' и R'' – алкильные радикалы, R''' – фенильная группа, X – анион галогена или кислотного остатка.

Возросшая потребность в ПАВ на промышленных предприятиях, а также их интенсивное использование в быту, прежде всего в процессе стирки, привели к скоплениям пены в подземных водах, руслах рек и водоемах. Пена препятствует судоходству, а высокая токсичность ПАВ приводит к массовой гибели рыб. Отрицательный опыт применения ПАВ, полученных химическим синтезом, вынудил прибегнуть к использованию таких ПАВ, которые разрушаются под действием биологических факторов – биodeградируемых. К относительно легко разрушающимся ПАВ относятся тензиды с неразветвленной цепью, как например, детергенты неионного характера и алкилбензолсульфонаты, которые, кроме того,

обладают малой токсичностью для людей и рыб. Биотический распад цепей в молекулах осуществляется за счет  $\beta$ -окисления, т.е. отщепления остатков уксусной кислоты.

Незначительная концентрация ПАВ в речной воде – 0,05-0,1 мг/л – достаточна, чтобы активизировать токсичные вещества, адсорбированные на донных осадках. Вода, просачивающаяся в почву, и скопления сточных вод, содержащих тензиды, также приводят к активации токсичных компонентов.

По данным Евросоюза, из-за существующего экологического положения более 100 тысяч видов обитателей морей находятся на грани исчезновения. Все отрасли промышленности – энергетика, производства, медицина, фармакология, сельское хозяйство, пищевая промышленность и другие – потребляют большое количество воды. Также большое значение имеет качество и чистота воды в сельском хозяйстве. Универсальным требованием для орошения плантаций растений – фруктов, овощей, злаков – является использование пресной воды, по возможности имеющей естественные характеристики.

Вместе с тем из 510 млн км<sup>2</sup> площади планеты около 360 млн км<sup>2</sup> покрыты водой. Площадь суши почти в два с половиной раза меньше водной поверхности и, несмотря на это, примерно 11% планеты составляют пустыни и эродированные земли, образовавшиеся из-за нехватки водных ресурсов.

Для получения чистой пресной воды в настоящее время разработаны десятки технологий, среди которых можно выделить лишь некоторые, находящие практическое применение, причем в небольших масштабах. Так, вызывают интерес мембранные технологии производства чистой воды, широкомасштабное применение которых, к сожалению, пока не удастся внедрить из-за технических сложностей производственного процесса. Кроме того, с целью очистки воды для различных нужд созданы механические и биологические фильтры. В непромышленных масштабах используются технологии очистки, основанные на электролизе и других процессах, эффективность которых достаточно высока, однако в полной мере не обеспечивает обессоливание морской воды. Несмотря на множество попыток, пока не удастся разработать дешевую и масштабную технологию опреснения соленой воды, которая позволила бы решить проблемы: опустынивания большей части планеты, сельского хозяйства, здравоохранения, обеспечения населения продовольствием – чтобы вместе с тем значительно улучшилась бы экологическая ситуация на всей планете.

Фактом обезвоживания и нарушения экологического равновесия является высыхание Аральского моря, площадь которого 30 лет назад составляла 58 тыс. км<sup>2</sup>. Сегодня общая площадь всех вместе взятых отдельных остаточных озер этого моря составляет примерно 7 тыс. км<sup>2</sup> – 8% от всей площади Аральского моря. Дно высохшего моря представляет собой смесь сухих солей, пестицидов и других химикатов. В условиях высокой, до 500С температуры, смесь переносится существующими в регионе сухими ураганами на большие расстояния – 400-500 км, что представляет серьезную экологическую угрозу для стран Средней Азии. Аральское море – не единственный пример полного опустынивания и превращения в бесполезную территорию больших природных ресурсов из-за нехватки воды.

Исходя из острого дефицита воды, следует подчеркнуть, что отсутствие промышленной масштабной технологии опреснения морской воды – одна из важнейших проблем мирового уровня. С целью получения пресной воды уже разработаны и нашли применение несколько технологий: дистилляция, электродиализ, ионный обмен, вымораживание и обратный осмос. Суммируя вышесказанное, можно с уверенностью заключить, что дефицит пресной воды уже является проблемой всего человечества, и в ближайшем будущем эта проблема будет значительно обостряться.

Существуют новые взгляды на очистку воды, пока не получившие широкого признания, среди которых следует отметить т.н. электроплазменные технологии, которые имеют значительное преимущество перед существующими традиционными методами. Это физические методы, в которых используются электрические и магнитные поля. В результате действия на водные потоки, как отдельных факторов, так и синергетических эффектов, на выходе технологического комплекса получается обеззараженная пресная вода. Основные преимущества электроплазменного метода перед другими: универсальность, высокая в сравнении с другими методами степень очистки от микрофлоры и органических загрязнителей, высокая степень обессоливания водного потока.

Следует отметить, что все существующие технологии опреснения воды имеют конкретную сферу применения. Однако эти технологии не решают основную проблему получения чистой, *питьевой* воды в требуемом для человечества количестве. Учитывая возрастающую потребность в питьевой воде в условиях современного непрогнозируемого роста населения, очевидно, что потенциала существующих технологий очистки воды пока явно недостаточно.



Питьевая вода контролируется по многим показателям. Однако спектр возможных примесей, даже после очистки воды, в ряде случаев остается довольно многообразным. История использования питьевой воды изобилует случаями массовых инфекционных заболеваний людей с фатальным исходом. Поэтому в системе водоподготовки очень важным являются технологии, цель которых – удаление химических и биологических заражающих воду факторов: обеззараживание воды методами химических технологий и удаления из воды патогенных бактерий, спор мицелиальных грибов и вирусов, и др. Для этих целей чаще всего используют хлор и озон, которые, кроме основного своего назначения – обеззараживания воды, вступают в физико-химическое взаимодействие с растворенными в воде остатками гуминовых кислот, нефтепродуктов, моющих средств, пестицидов и всякой другой «химии», образуя нехарактерные вещества типа хлор-фосфор-азот органики и даже ряд диоксиноподобных соединений. Эти вещества, содержащиеся в питьевой воде в гомеопатических концентрациях, являются мутагенными и канцерогенными. Таких соединений насчитывается более 2000. Надежных, относительно дешевых методов удаления из питьевой воды всех химических и биологических, загрязняющих воду факторов пока не существует. Проблеме мутагенности и канцерогенности питьевой воды ВОЗ стала уделять повышенное внимание в связи с ростом онкологических и наследственных заболеваний. Исследованиями последних лет доказано, что даже незначительное проявление мутагенности питьевой воды, а тем более сильной мутагенности, является основной причиной, во-первых, таких тяжелых и фатальных заболеваний, как рак, атеросклероз, склероз сосудов головного мозга и других, а также необратимых повреждений генофонда. Существует предположение, что недостаточно только очистить воду от примесей, ибо вода обладает гомеопатическим эффектом памяти, то есть способностью сохранять след воздействий на ее молекулярную структуру. Вероятность важности такого предположения еще больше усложняет проблемы, связанные с получением полноценной питьевой воды.

Вот почему многие ученые и компании, причастные к науке о воде, поглощены сейчас проблемой разработки промышленной, экономически приемлемой технологии очистки морской воды, чтобы превращать ее в питьевую, максимально приблизив к характеристикам чистой природной воды. Для этого потребовалось углубленное изучение многочисленных научных источников, анализ современных представлений физики, химии и биологии воды; пришлось заново пересмо-

треть современную теорию питьевой воды, проанализировать многочисленные конструкции и опытно-промышленные разработки. К сожалению, несмотря на определенные успехи, приходится констатировать, что проблемы с созданием технологий масштабного получения питьевой воды в количестве, обеспечивающим растущее население планеты, пока не решены.

Подводя итог всей этой главы, можно подчеркнуть следующее. Загрязнение отдельных регионов планеты тяжелыми металлами и органическими токсикантами происходит неравномерно. В мире есть экологически благополучные страны, например, Канада, Швеция, Финляндия, Швейцария, Шотландия, Норвегия, Исландия и некоторые другие. Экологическое состояние территорий остальных стран можно оценить как мало, средне и сильно загрязненные ареалы.

Даже в условиях Арктики – в почве, рыбах, птицах, тюленях и других животных – установлено наличие токсических соединений антропогенного характера, что еще раз указывает на всеобщее распространение токсичности в масштабе всей планеты.

**Следует учитывать, что экологическое состояние Земли уже находится в сложной ситуации, отягощенной неестественными негативными факторами, на что указывает хотя бы процесс глобального потепления, который уже вызвал повышение уровня океана, ряд инфекционных заболеваний и др. На осложнение экологической ситуации указывают учащенные селевые потоки, аномально высокая температура в разных регионах, засухи. Создавшееся положение требует особого внимания на всех этапах деятельности человека и это, в свою очередь, требует поиска новых подходов к решению жизненно важных проблем. В уже создавшейся ситуации, несомненно, необходима разработка качественно новых масштабных технологий, связанных с обессоливанием морской воды.**

## **1.6 Ресурсы планеты на грани исчерпания**

Экология, природопользование, возобновляемые и невозобновляемые ресурсы планеты, долгосрочность их существования в условиях современного и постоянно увеличивающегося масштаба их использования – это перечень самых актуальных жизненно важных проблем современности. Геологический потенциал полезных ископаемых планеты, основы нашего существования в XXI веке, столь детально изучен, что позволяет довольно точно оценить их долговечность,

определяющую благополучное существование *Homo sapiens*. Как показывает анализ имеющегося потенциала природных ресурсов (таблицы 2, 2.1), он является довольно ограниченным, особенно согласно тому стереотипу жизни, которому подвержено сегодня мировое сообщество. Удивительно, но, несмотря на исключительную важность проблемы, глобально мировое сообщество не оценивает всю остроту исчерпываемых ресурсов планеты и судит о них исключительно потребительски.

Не имея ни политического, ни конфессионального, ни какого-либо другого критерия, проблемы поддержания гомеостатического равновесия в природе, связанные с неизбежным исчерпанием ее ресурсов и повышением токсичности всех экологических ниш, сегодня весьма далеки от разрешения. Особенное удивление вызывает то, что до сих пор они так и не стали предметом всенародного обсуждения. Конечно, осмыслить все аттракторы сложной системы, какой является живая природа во всем ее многообразии, очень сложно. Но воистину удивительна та беспечность, с которой человек потребительски взирает на деградацию и разрушение биологических основ жизни – материнского лона своего бытия! Дабы не расчеловечиться в человекообразных носителей искусственного интеллекта, первостепенной задачей является не только научный мониторинг экологического равновесия планеты и поддержание приемлемого уровня ее самовоспроизводства, но и кропотливая просветительская работа с массовым сознанием, направленная на расшатывание потребительских соблазнов постиндустриального общества. Необходимость бережливого отношения к экологии, сознательного потребительского самоограничения, поставленного под контроль разума и совести, стала насущной задачей нашего времени. Обсуждению этого круга вопросов и посвящен настоящий труд, обращенный ко всем, кого это волнует.

Материалы, представленные в монографии, побуждают к размышлению об экзистенциальном выборе человечества: сверхпотребление или сбережение природных основ своего бытия?! При нынешнем уровне потребления, свойственном странам «золотого миллиарда», для наших внуков станет колоссальной проблемой в жизни питьевая вода, кусок хлеба, одежда, глоток чистого воздуха... Если не научимся ограничивать свои потребительские аппетиты, подобная «война всех против всех» (Т. Гоббс) ждет нас уже через несколько десятилетий. Сегодня назрела острая необходимость детально изучить потенциал ресурсов планеты и сделать выбор: к чему должен стремиться землянин?

Судьба планеты и человечества способна измениться к лучшему. Настала острая необходимость начать научный поиск и создание экологически дружелюбных технологий и крайне бережливого и рационального использования ресурсов планеты.

Колоссальный расход электричества и воды, увеличение объемов мусора, бытовых отходов, рост антисанитарии, дефицит продуктов питания, нарастающий конфликт интересов среди всех социальных слоев населения, деградация личности, отсутствие равных условий для питания, образования, лечения, наряду с колоссальным богатством небольшой части общества... А ведь именно такая картина сложилась в настоящее время на нашей планете. Человечеству необходим поиск новых решений быта. Очевидно, очень важно, чтобы каждый заинтересованный житель планеты имел объективное представление о том, сколько еще лет можно жить по стилю *Homo consúmens*, прямого наследника *Homo sapiens*. Вместе с тем следует отметить, что перепотребление всего привело к обеднению планеты природными ресурсами, на что указывают данные нижеприведенных таблиц 2 и 2.1.

### Ресурсообеспеченность планеты полезными ископаемыми

Таблица 2

Наименование ресурса	Мировые запасы		Текущее потребление <sup>1</sup> (2021 г.)	Ресурсообеспеченность, период, лет	
	Ед. измерения	Количество <sup>1</sup>		с учетом текущего уровня потребления	с учетом прогнозного уровня потребления (Таблица 2.1)
1	2	3	4	5	6
Нефть	млрд тонн	225	4,80	47	<b>30 – 33</b>
Уголь	млрд тонн	1030	7,43	138	<b>48 – 50</b>
Природный газ	трлн м <sup>3</sup>	188,1	4,20	45	<b>33 – 36</b>
Железо	млрд тонн	84	2,10	40	<b>21 – 23</b>
Марганец	млн тонн	1300	19,4	67	<b>33 – 35</b>
Золото	тыс. тонн	53	3,20	17	<b>12 – 14</b>
Серебро	тыс. тонн	530	26,02	20	<b>12 – 14</b>
Медь	млн тонн	2100	24,99	84	<b>45 – 47</b>
Никель	млн тонн	94	2,57	36,5	<b>18 – 20</b>
Свинец	млн тонн	95	4,70	20	<b>15 – 17</b>
Цинк	млн тонн	250	12,8	19,5	<b>15 – 17</b>
Древесина	млрд м <sup>3</sup>	365	5,60	65	<b>36 – 38</b>

Вольфрам	млн тонн	3,4	0,0915	37	<b>21 – 23</b>
Молибден	млн тонн	18	0,3	60	<b>36 – 38</b>
Сурьма	млн тонн	1,5	0,153	10	<b>6 – 8</b>
Висмут	тыс. тонн	680	19	36	<b>21 – 23</b>
Олово	млн тонн	15,4	0,31	50	<b>33 – 35</b>
Кобальт	млн тонн	7	0,140	50	<b>18 – 20</b>
Уран	тыс. тонн	8 070,4	74,019	109	<b>48 – 50</b>

1-Данные о полезных ископаемых и их потреблении Геологической службы США <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

Все эти данные касаются литосферы, верхней части планеты. В недрах Земли, несомненно, существуют минеральные ресурсы, которые, ввиду отсутствия соответствующих технологий их извлечения, недоступны для использования в промышленных процессах.

### Прогноз потребления полезных ископаемых с учетом роста численности населения

Таблица 2.1

Наименование ресурса	Показатели	Период					
		2022-2024	2025-2027	2028-2030	2031-2033	2034-2036	2037-2039
<b>Нефть</b>	<b>Размер потребления, млрд тонн</b>	14,99	15,91	16,89	17,92	19,02	20,18
	<b>% роста *</b>		6.14%	6.16%	6.10%	6.12%	6.10%
	<b>Остаток запасов, млрд тонн</b>	210,01	194,1	177,21	159,29	140,27	120,09
<b>Уголь</b>	<b>Размер потребления, млрд тонн</b>	22,75	23,98	25,81	27,07	28,87	30,16
	<b>% роста</b>		5.41%	7.63%	4.88%	6.65%	4.47%
	<b>Остаток запасов, млрд тонн</b>	1007,25	983,27	957,46	930,39	901,52	871,36
<b>Природный газ</b>	<b>Размер потребления, трлн м<sup>3</sup></b>	12,93	13,54	14,14	14,76	15,41	16,08
	<b>% роста</b>		4.72%	4.43%	4.38%	4.40%	4.35%
	<b>Остаток запасов, трлн м<sup>3</sup></b>	175,17	161,63	147,49	132,73	117,32	101,24
<b>Железо</b>	<b>Размер потребления, млрд тонн</b>	6,96	8,1	9,93	11,61	13,47	15,64
	<b>% роста</b>		16.38%	22.59%	16.91%	16.02%	16.11%
	<b>Остаток запасов, млрд тонн</b>	77,04	68,94	59,01	47,40	33,93	18,29

Продолжение таблицы 2.1

Марганец	Размер потребления, млн тонн	62,50	69,49	77,26	85,91	95,52	106,21
	% роста		11.18%	11.18%	11.19%	11.18%	11.19%
	Остаток запасов, млн тонн	1237,5	1168,01	1090,75	1004,84	909,32	803,11
Золото	Размер потребления, тыс. тонн	10,20	11,10	12,20	13,30	6,20	
	% роста		8.8%	9.9%	9%		
	Остаток запасов, тыс. тонн	42,8	31,7	19,5	6,2	0	
Серебро	Размер потребления, тыс. тонн	87,6	104,14	123,68	146,89	67,69	
	% роста		18.88%	18.76%	18.77%		
	Остаток запасов, тыс. тонн	442,4	338,26	214,58	67,69	0	
Медь	Размер потребления, млн тонн	78,78	84,91	91,31	98,04	105,58	113,70
	% роста		7.78%	7.54%	7.37%	7.69%	7.69%
	Остаток запасов, млн тонн	2021,22	1936,31	1845	1746,96	1641,38	1527,68
Никель	Размер потребления, млн тонн	9,34	11,25	12,97	14,38	15,80	17,36
	% роста		20.45%	15.28%	10.87%	9.87%	9.87
	Остаток запасов, млн тонн	84,66	73,41	60,44	46,06	30,26	12,9
Свинец	Размер потребления, млн тонн	14,82	15,99	17,22	18,54	19,96	8,47
	% роста		7.89%	7.69%	7.66%	7.65%	
	Остаток запасов, млн тонн	80,18	64,19	46,97	28,43	8,47	0
Цинк	Размер потребления, млн тонн	39,96	42,50	44,99	47,76	50,68	24,11
	% роста		6.35%	5.85%	6.15%	6.11%	
	Остаток запасов, млн тонн	210,04	167,54	122,55	74,79	24,11	0
Древесина	Размер потребления, млрд м <sup>3</sup>	18,01	19,31	20,70	22,19	23,79	25,51
	% роста		7.21%	7.19%	7.19%	7.21%	7.22%
	Остаток запасов, млрд м <sup>3</sup>	346,99	327,68	306,98	284,79	261	235,49

Продолжение таблицы 2.1

<b>Вольфрам</b>	<b>Размер потребления, млн тонн</b>	0,30	0,35	0,40	0,46	0,53	0,61
	<b>% роста</b>		16.67%	14.29%	15.00%	15.22%	15.09%
	<b>Остаток запасов, млн тонн</b>	3,10	2,75	2,35	1,89	1,36	0,75
<b>Молибден</b>	<b>Размер потребления, млн тонн</b>	0,94	1,00	1,07	1,14	1,22	1,30
	<b>% роста</b>		6.38%	7.00%	6.54%	7.02%	6.56%
	<b>Остаток запасов, млн тонн</b>	17,06	16,06	14,99	13,85	12,63	11,33
<b>Сурьма</b>	<b>Размер потребления, млн тонн</b>	0,49	0,51	0,49			
	<b>% роста</b>		4.08%				
	<b>Остаток запасов, млн тонн</b>	1,01	0,493	0			
<b>Висмут</b>	<b>Размер потребления, тыс.тонн</b>	61,20	68,05	75,67	84,14	93,56	104,03
	<b>% роста</b>		11.19%	11.20%	11.19%	11.20%	11.19%
	<b>Остаток запасов, тыс. тонн</b>	618,8	550,75	475,08	390,94	297,38	193,35
<b>Олово</b>	<b>Размер потребления, млн тонн</b>	0,97	1,03	1,09	1,16	1,23	1,30
	<b>% роста</b>		6.19%	5.83%	6.42%	6.03%	5.69%
	<b>Остаток запасов, млн тонн</b>	14,43	13,40	12,31	11,15	9,92	8,62
<b>Кобальт</b>	<b>Размер потребления, млн тонн</b>	0,49	0,61	0,76	0,94	1,17	1,46
	<b>% роста</b>		24,49%	24,59%	23,68%	24,47%	24,79%
	<b>Остаток запасов, млн тонн</b>	6,51	5,9	5,14	4,2	3,03	1,57
<b>Уран</b>	<b>Размер потребления, тыс.тонн</b>	234,22	253,64	274,66	297,42	322,07	348,77
	<b>% роста</b>		8.29%	8.29%	8,29%	8,29%	8,29%
	<b>Остаток запасов, млн тонн</b>	7836,18	7582,54	7307,88	7010,46	6688,39	6339,62
		2040-2042	2043-2045	2046-2048	2049-2051	2052-2054	2055-2057
<b>Нефть</b>	<b>Размер потребления, млрд тонн</b>	21,42	22,73	24,12	25,60	26,22	
	<b>% роста</b>	6.14%	6.12%	6.11%	6.15%		
	<b>Остаток запасов млрд тонн</b>	98,67	75,94	51,82	26,22	0	

Уголь	Размер потребления, млрд тонн	31,93	33,26	34,99	36,35	38,05	80,63
	% роста	5.87%	4.17%	5.20%	3.89%	4.68%	111.91%
	Остаток запасов, млрд тонн	839,43	806,17	771,18	734,83	696,78	616,12
Природный газ	Размер потребления, трлн м <sup>3</sup>	16,80	17,53	18,31	19,11	19,96	9,53
	% роста	4.48%	4.35%	4.45%	4.37%	4.45%	
	Остаток запасов, трлн м <sup>3</sup>	84,44	66,91	48,6	29,49	9,53	0
Железо	Размер потребления, млрд тонн	18,16	0,13				
	% роста	16.11%					
	Остаток запасов, млрд тонн	0,13	0				
Марганец	Размер потребления, млн тонн	118,09	131,31	145,99	162,34	180,51	64,87
	% роста	11.18%	11.19%	11.17%	11.19%	11.19%	
	Остаток запасов, млн тонн	685,02	553,71	407,72	245,38	64,87	0
Золото	Размер потребления, тыс. тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, тыс. тонн						
Серебро	Размер потребления, тыс. тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, тыс. тонн						
Медь	Размер потребления, млн тонн	122,44	131,86	141,99	152,91	164,67	177,32
	% роста	7.68%	7.69%	7.68%	7.69%	7.69%	7.68%
	Остаток запасов, млн тонн	1405,24	1273,38	1131,39	978,48	813,81	636,49
Никель	Размер потребления, млн тонн	12,9					
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн	0					



Свинец	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Цинк	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Древесина	Размер потребления, млрд м <sup>3</sup>	27,35	29,32	31,43	33,64	36,03	38,62
	% роста	7.21%	7.20%	7.19%	7.03%	7.10%	7.18%
	Остаток запасов, млрд м <sup>3</sup>	208,14	178,82	147,39	113,75	77,72	39,10
Вольфрам	Размер потребления, млн тонн	0,70	0,05				
	% роста	14.75%					
	Остаток запасов, млн тонн	0,05	0				
Молибден	Размер потребления, млн тонн	1,39	1,48	1,59	1,69	1,81	1,93
	% роста	6.92%	6.47%	7.43%	6.29%	7.10%	6.63%
	Остаток запасов, млн тонн	9,94	8,46	6,87	5,18	3,37	1,44
Сурьма	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Висмут	Размер потребления, тыс. тонн	115,67	77,67				
	% роста	11.19%					
	Остаток запасов, тыс. тонн	77,68	0				
Олово	Размер потребления, млн тонн	1,38	1,47	1,56	1,65	1,75	0,81
	% роста	6.15%	6.52%	6.12%	5.77%	6.06%	
	Остаток запасов, млн тонн	7,24	5,77	4,21	2,56	0,81	0

Кобальт	Размер потребления, млн тонн	1,57					
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн	0					
Уран	Размер потребления, тыс. тонн	377,68	408,99	442,89	479,60	519,35	562,40
	% роста	8,29%	8,29%	8,29%	8,29%	8,29%	8,29%
	Остаток запасов, млн тонн	5961,94	5552,95	5110,06	4630,46	4111,11	3548,71

		2058-2060	2061-2063	2064-2066	2067-2069	2070-2072	2073-2075
Нефть	Размер потребления, млрд тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млрд тонн						
Уголь	Размер потребления, млрд тонн	113,78	119,14	124,95	130,79	127,46	
	% роста	41.11%	4.71%	4.87%	4.67%		
	Остаток запасов, млрд тонн	502,34	382,20	258,25	127,46	0	
Природный газ	Размер потребления, млрд тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млрд тонн						
Железо	Размер потребления, млрд тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млрд тонн						
Марганец	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Золото	Размер потребления, тыс. тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, тыс. тонн						

Серебро	Размер потребления, тыс. тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, тыс. тонн						
Медь	Размер потребления, млн тонн	190,95	205,63	221,44	18,47		
	% роста	7.68%	7.68%	7.68%			
	Остаток запасов, млн тонн	445,54	239,91	18,47	0		
Никель	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Свинец	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Цинк	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Древесина	Размер потребления, млрд м <sup>3</sup>	39,10					
	% роста						
	Остаток запасов, млрд м <sup>3</sup>	0					
Вольфрам	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Молибден	Размер потребления, млн тонн	1,44					
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн	0					
Сурьма	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						

Висмут	Размер потребления, тыс. тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, тыс. тонн						
Олово	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Кобальт	Размер потребления, млн тонн						
	% роста						
	Остаток запасов, млн тонн						
Уран	Размер потребления, тыс. тонн	609,02	659,50	714,16	773,35	792,68	
	% роста	8,29%	8,29%	8,29%	8,29%		
	Остаток запасов, млн тонн	2939,69	2280,19	1566,03	792,68	0	

\* ПРОЦЕНТ РОСТА РАССЧИТЫВАЕТСЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ПРЕДЫДУЩЕМУ ПЕРИОДУ

Исходные данные для прогнозного %-го роста:

- Организации стран – экспортеров нефти (ОПЕК) ([https://www.opec.org/opec\\_web/en/998.htm#:~:text=By%202025%2C%20the%20share%20of,at%20about%2028%20per%20cent](https://www.opec.org/opec_web/en/998.htm#:~:text=By%202025%2C%20the%20share%20of,at%20about%2028%20per%20cent)).
- Международного энергетического агентства (<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/changes-in-global-coal-consumption-by-region-2018-2025>)
- Аналитические и консультационные организации: Coherent Market Insights (<https://www.coherentmarketinsights.com/>), Market Insight Reports (<https://www.marketinsightsreports.com/>)

Приведенные выше данные таблиц 2 и 2.1, указывающие на **прогноз потребления полезных ископаемых с учетом роста численности населения планеты**, являются результатом многолетних наблюдений и анализа, осуществляемого авторами. В работе использованы многочисленные литературные данные, отчеты международных организаций и многочисленные консультации с экспертами в данной области. Опираясь на достоверность, их вполне можно использовать в качестве основы для дальнейших рассуждений о возможных перспективах, которые ожидают *Homo sapiens*, как в недалеком, так и в несколько отдаленном будущем.

По сложившейся сегодня в мире ситуации за последние 150 лет **углеводороды нефти** являются основным источником энергии. Доля углеводородов в структуре мирового энергетического спроса на сегодня остается преобладающей (не менее 80%). Углеводороды дают нам топливо и электроэнергию, что позволяет добывать сырье для промышленности (руды черных и цветных металлов, редкоземельные металлы, инертные материалы и т.д.). Вместе с тем следует отметить, что сами углеводороды и другие продукты, созданные на их базе, характеризуются высокой токсичностью и канцерогенностью. Эта весьма серьезная причина явилась основой для интенсивного поиска новых, альтернативных, экологически дружелюбных источников энергии.

### **Углеводороды:**

#### **Нефть**

В настоящее время нефть обеспечивает около 33% мировых энергетических потребностей. Продукты переработки сырой нефти, такие, как бензин, дизельное топливо, керосин, используются практически во всех видах транспорта. В случае истощения запасов нефти и отсутствия альтернативного источника, человечество столкнется с серьезными проблемами, что может привести к переустройству мировой логистики.

#### **Уголь**

В настоящее время уголь обеспечивает 30% мировых энергетических потребностей. Соответственно, возможен 30%-ный дефицит электроэнергии в мире, который пока нечем заменить. Тем более учитывая, что запасы газа и нефти закончатся раньше угля.

Истощение запасов угля ожидается примерно через 50 лет.

#### **Природный газ**

В настоящее время природный газ обеспечивает более 20% мировых энергетических потребностей.

Используется в качестве топлива для транспортных средств (пока в небольших масштабах) и в химической промышленности при производстве пластмасс и других органических соединений.

Ресурсообеспеченность природным газом составляет менее 40 лет.

#### **Железо (железная руда)**

Процент применения железного лома в мире как источника сырья достигает 40%. Причина – истощение месторождений железной руды.

Ресурсообеспеченность железной рудой составляет чуть более 20 лет.

### **Марганец**

Почти 90% всего металла расходуется в черной металлургии. Используется при изготовлении сплава из марганца, меди и никеля.

Ресурс марганца закончится менее, чем через 40 лет.

### **Золото**

Исчезновение золота приведет фактически к полной потере ювелирного рынка. Отразится и на химической промышленности, электронике и производстве измерительных приборов, авиации и космической отрасли.

Золотой ресурс планеты, ввиду дополнительных, многочисленных небогатых месторождений, трудно рассчитать, хотя, по существующим расчетам, он определяется сроком на 15-20 лет.

### **Серебро**

Помимо использования в ювелирной промышленности, применяется в пищевой, химической, электротехнической, медицине, производстве аккумуляторных и солнечных батарей.

Серебряный ресурс планеты, предположительно, рассчитан на период до 50 лет.

### **Медь**

Основное применение меди – производство проводов, кабелей, сетевых проводников, линий электропередачи. Высокую электропроводность меди можно назвать главным свойством, определяющим ее преимущественное использование. Исчезновение меди ставит под сомнение всю зеленую экономику. Медь необходима и при производстве альтернативы двигателям внутреннего сгорания – электромобилей.

Ресурсообеспеченность медью составляет до 50 лет.

### **Никель**

Основная сфера применения никеля – металлургия. Отсутствие никеля приведет к сложностям в металлургической промышленности.

Срок истощения не более 20 лет.

### **Свинец**

До 45% свинца идет на изготовление пластин свинцово-кислотных аккумуляторов, которые используются во всем автомобильном транспорте.

Дефицит свинца приведет к кризису в автомобильной промышленности.

Ресурсообеспеченность составляет не более 20 лет.

## **Цинк**

Основная сфера применения цинка – металлургия. Так же, как и с марганцем, и никелем, отсутствие этого металла приведет к определенным затруднениям в металлургической промышленности. 10% цинка используется в медицинской промышленности.

Обеспеченность ресурсом составляет до 20 лет.

## **Древесина**

Исчерпание запаса лигноцеллюлозной древесины приведет к серьезным экологическим проблемам: почвенной эрозии, снижению водности рек, тем самым, к дефициту чистой питьевой воды. Ежегодная фиксация молекулярного углекислого газа составляет не менее 160 миллиардов тонн возобновляемой биомассы. Уменьшение древесных, а также кустарниковых и однолетних растений, безусловно, усилит образование парникового эффекта и в целом отрицательно повлияет на иммунную систему всей природы. По последним подсчетам, сейчас на планете 3,04 триллиона деревьев. Пока в мире приходится 380 деревьев на одного человека.

С учетом прогнозного потребления запас древесины рассчитан до 40 лет.

## **Вольфрам**

Основное применение – металлургия и машиностроение. Учитывая особую твердость металла, из сплавов с вольфрамом делают медицинские инструменты и специальные инструменты, требующие высокой прочности (буры).

Ресурсообеспеченность – до 25 лет.

## **Молибден**

Основное применение: металлургия, аэрокосмическая отрасль, производство конструкций атомной техники. Используется для изготовления обшивки и элементов каркаса сверхзвуковых самолетов и ракет, теплообменников, оболочек возвращающихся на землю ракет и капсул, тепловых экранов.

Ресурсообеспеченность – до 40 лет.

## **Сурьма**

Входит в состав почти 200 разных типов сплавов. Основная часть производимой сурьмы идет на производство твердого свинца для выпуска пластин аккумуляторов и батарей.

Ресурсообеспеченность – до 10 лет.

## **Висмут**

Основным потребителем висмута является металлургия. Висмут очень востребован при производстве алюминия, в основном, для авиационной отрасли.

Ресурсообеспеченность – до 25 лет.

## **Олово**

Большая часть выплавляемого олова используется в металлургии. Сплавы идут на изготовление фольги для упаковки, белой пищевой жести – основного источника тары для хранения продуктов (консервы).

Ресурсообеспеченность – до 35 лет.

## **Кобальт**

Основное применение – металлургия. В сельском хозяйстве, ветеринарии и фармацевтике – это элемент минудобрений, кормовых добавок для скота, животных, пчел, ряда лекарств.

Ресурсообеспеченность – до 20 лет.

## **Уран**

Металлический уран или его соединения используются, в основном, в качестве ядерного горючего в ядерных реакторах.

Ресурсообеспеченность урана – до 50 лет.

Экологическую информацию и данные об исчерпаемых ресурсах Земли следует пропагандировать всеми доступными способами. Конечно, есть неиссякаемые источники энергии, такие, как солнечная, ветряная энергия, энергия рек и т.д. Существуют альтернативные источники энергии: ветроэлектростанции, солнечные батареи, гидроэлектростанции, роль которых постоянно повышается. Единственным способом, который мог бы восполнить необходимый дефицит углеводородов и урана, является термоядерный синтез. Основным топливом для этого процесса, хотя весьма опасным, является водород – неисчерпаемый ресурс нашей планеты. По данным British Petroleum (Statistical Review of World Energy 2022), по итогам 2021 года производство электроэнергии в мире составляет 28466,3 тераватта (ТВт) – в среднем 3,6 мегаватта (МВт) на одного человека, 9,9 киловатта (кВт) в сутки.

Особую озабоченность вызывает постоянно увеличивающийся дефицит питьевой воды. В последние десятилетия дефицит пресной воды возникает в регионах, где его раньше не было, и повсеместно усиливается, например, Китай, Египет и др. [30].



Очевидная причина – увеличение водопотребления непрогнозируемо растущими населением и экономикой. **Однако тревожным фактом является то, что пресной воды удовлетворительного качества становится меньше не только в относительном, но и в абсолютном количестве.** Это чрезвычайно серьезное обстоятельство, по непонятным причинам, остается незамеченным. По некоторым данным, в Европе дефицит воды возникает из-за изменения климата (<https://www.ft.com/content/887170b2-99ed-4c78-96a0-f40273cadc10>).

Изменение климата в результате антропогенной деятельности человека, повышение токсичности во всех экологических нишах, рост населения планеты, неконтролируемая урбанизация и нерациональное землепользование с катастрофической скоростью влияют на сокращение мировых запасов чистой пресной воды, а по сути – ведут к уничтожению пресноводных экосистем.

(База данных ООН по водным ресурсам AQUASTA, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>). Ниже приводятся данные мировых запасов пригодной для питья воды, составленные авторами в течение многих лет.

### **Срок истощения доступных мировых запасов чистой питьевой воды, данные составлены по регионам**

Таблица 3

Континент	Темп загрязнения пресной воды, млрд м <sup>3</sup> /год	Общие доступные запасы пресной воды, млрд м <sup>3</sup> /год	Срок истощения запасов чистой питьевой воды, лет
Северная Америка	93,7	7117,8	76
Латинская Америка	130,3	17974,7	137,9
Европа	92	7851,1	72,5
Карибский бассейн	16,4	98,4	6
Субсахарная Африка	74,1	5477,2	73,9
Азия	1453,6	14120,1	9,7
Океания	5,7	1648,6	290
Ближний Восток и Северная Африка	190,7	411,1	2,2

## Сроки истощения доступных мировых запасов чистой питьевой воды отдельных стран

Таблица 4

Оценка срока истощения запасов доступной пресной воды по странам							
Наименование страны	Общие доступные запасы водных ресурсов, млрд м <sup>3</sup>	Потребление пресной воды, млрд м <sup>3</sup> /год			Объем очистки потребляемой пресной воды, %	Объем загрязненных пресных вод, млрд м <sup>3</sup> /год	Срок истощения запасов чистой пресной воды (гр.2/гр.7), лет
		Водоподготовка	Прямой источник	Итого			
1	2	3	4	5	6	7	8
Кувейт	0	0,8	0	0,8	84,7	0,12	0
Ливия	0,7	0,15	5,5	5,7	16,6	4,75	0,1
Саудовская Аравия	2,4	12,7	8,5	21,2	80	4,24	0,6
Барбадос	0,08	0,03	0,07	0,1	2,8	0,097	0,8
Йемен	2,1	0,1	3,5	3,6	34,4	2,36	0,9
Туркменистан	24,8	1,6	26,3	27,9	14,8	23,77	1,0
Узбекистан	48,9	4,5	54,4	58,9	32,3	39,88	1,2
Пакистан	246,8	12	188	200	1	198,00	1,2
ОАЭ	0,15	0,5	2,1	2,6	95,9	0,11	1,4
Судан	37,8	1,1	25,8	26,9	3,4	25,99	1,5
Египет	58	13,4	50,8	64,2	45,5	34,99	1,7
Иран	137	9,3	83,7	93	22,1	72,45	1,9
Палестина	0,812	0,19	0,21	0,4	6,33	0,37	2,2
Сирия	16,8	2,2	11,8	14	45,2	7,67	2,2
Тунис	4,6	1,1	3,7	4,8	59,7	1,93	2,4
Таджикистан	21,9	0,9	9,5	10,4	13,3	9,02	2,4
Сент-Китс и Невис	0,024	0,001	0,009	0,01	25,9	0,007	3,2
Доминиканская Республика	23,5	1,5	7,6	9,1	20,4	7,24	3,2
Афганистан	65,3	0,4	19,9	20,3	5,7	19,14	3,4
Ирак	89,9	2,7	35,8	38,5	37,1	24,22	3,7
Киргизия	23,6	0,6	7,1	7,7	18,9	6,24	3,8
Индия	1911	62,2	585,3	647,5	26,6	475,27	4,0
Шри-Ланка	52,8	1,6	11,3	12,9	1,3	12,73	4,1
Марокко	29	1,4	9,2	10,6	36,1	6,77	4,3
Армения	7,8	0,8	2,1	2,9	40,1	1,74	4,5

Продолжение таблицы 4

Ливан	4,5	1,1	0,7	1,8	45,7	0,98	4,6
Сомали	14,7	0,1	3,2	3,3	10,5	2,95	5,0
Эсватини	4,5	0,1	1	1,1	17,9	0,90	5,0
Алжир	11,7	3,6	6,2	9,8	76,2	2,33	5,0
Мальдивы	0,03	0,009	0,001	0,01	41,7	0,006	5,1
Иордания	0,9	0,5	0,4	0,9	82	0,16	5,6
Азербайджан	34,7	3,5	9,3	12,8	57,4	5,45	6,4
Куба	38,12	2,5	4,5	7	18,9	5,68	6,7
ЮАР	51,4	8	11,4	19,4	61,3	7,51	6,8
Северная Македония	6,4	0,6	0,4	1	9,1	0,91	7,0
Казахстан	108,4	8,6	13,9	22,5	35,7	14,47	7,5
Маврикий	2,8	0,3	0,3	0,6	38	0,37	7,5
Восточный Тимор	8,215	0,1	1,1	1,2	12,7	1,05	7,8
Зимбабве	20	0,6	2,7	3,3	23	2,54	7,9
Кения	30,7	0,8	3,2	4	9,4	3,62	8,5
Ямайка	10,82	1,3	0,1	1,4	13,7	1,21	9,0
Филиппины	479	25	67,8	92,8	42,9	52,99	9,0
КНДР	77,2	2,1	6,6	8,7	7,2	8,07	9,6
Турция	211,6	9,1	50,9	60	63,3	22,02	9,6
Сент-Люсия	0,3	0,01	0,03	0,04	24,1	0,03	9,9
Мавритания	11,4	0,1	1,2	1,3	12,3	1,14	10,0
Таиланд	438,6	5,7	51,6	57,3	24,4	43,32	10,1
Гаити	14	0,2	1,3	1,5	10,7	1,34	10,5
Бахрейн	0,1	0,17	0,03	0,2	95,6	0,009	11,4
Пуэрто-Рико	7,1	0,87	0,03	0,9	32,5	0,61	11,7
Индонезия	2019	32,9	189,7	222,6	24,6	167,84	12,0
Кипр	0,79	0,1	0,1	0,2	67,2	0,07	12,0
Доминика	0,2	0,019	0,001	0,02	18,2	0,016	12,2
Сент-Винсент и Гренадины	0,1	0,009	0,001	0,01	21,5	0,008	12,7
Сальвадор	26,3	0,7	1,4	2,1	2	2,06	12,8
Эфиопия	122	0,9	9,6	10,5	10	9,45	12,9
Эритрея	7,3	0,1	0,5	0,6	6,3	0,56	13,0
Мексика	461,9	21,1	66,7	87,8	59,6	35,47	13,0
Малави	17,3	0,2	1,2	1,4	6,5	1,31	13,2
Вьетнам	884,1	4,3	77,6	81,9	18,5	66,75	13,2
Китай	2840	210,7	381,1	591,8	64,8	208,31	13,6
Кабо-Верде	0,3	0,002	0,028	0,03	31	0,02	14,5
Джибути	0,3	0,017	0,003	0,02	10,9	0,018	16,8
Буркина-Фасо	13,5	0,4	0,4	0,8	2,3	0,78	17,3

Продолжение таблицы 4

Болгария	21,3	4,9	0,8	5,7	79,2	1,19	18,0
Танзания	96,3	0,6	4,6	5,2	5,3	4,92	19,6
Сенегал	39	0,2	2	2,2	14,2	1,89	20,7
Нигер	34,1	0,2	1,5	1,7	4	1,63	20,9
Тринидад и Тобаго	3,84	0,299	0,001	0,3	38,8	0,18	20,9
Израиль	1,8	0,5	0,7	1,2	93,1	0,08	21,7
Мали	120	0,1	5,1	5,2	3,4	5,02	23,9
Бельгия	18,3	3,995	0,005	4	81,3	0,75	24,5
Гренада	0,2	0,009	0,001	0,01	19,7	0,008	24,9
Молдова	12,3	0,76	0,04	0,8	38,5	0,49	25,0
Испания	111,5	10,9	20,3	31,2	86	4,37	25,5
Мадагаскар	337	0,6	13	13,6	9,3	12,34	27,3
Албания	30,2	0,4	0,8	1,2	13,4	1,04	29,1
Украина	175,3	5,6	3	8,6	34,3	5,65	31,0
Португалия	77,4	2	7,1	9,1	73,6	2,40	32,2
Антигуа и Барбуда	0,1	0,003	0,001	0,004	24,3	0,003	33,0
Польша	60,5	9,1	1	10,1	81,9	1,83	33,1
Непал	210,2	0,2	9,3	9,5	37,2	5,97	35,2
Аргентина	876,2	9,8	27,9	37,7	36,5	23,94	36,6
Катар	0,056	0,2	0,1	0,3	99,5	0,0015	37,3
Мьянма	1168	3,8	29,4	33,2	10	29,88	39,1
Бангладеш	1227	4,4	31,5	35,9	16	30,16	40,7
Сербия	162,2	4,7	0,7	5,4	27,1	3,94	41,2
Бурунди	12,5	0,1	0,2	0,3	4	0,29	43,4
Нигерия	286,2	7	5,5	12,5	48,3	6,46	44,3
Гана	56,2	0,4	1	1,4	12,1	1,23	45,7
Коста-Рика	113	0,9	2,3	3,2	23,3	2,45	46,0
Лаос	333,5	0,3	7	7,3	10,1	6,56	50,8
Чад	45,7	0,2	0,7	0,9	2,3	0,88	52,0
Гватемала	127,9	1,4	1,9	3,3	27,2	2,40	53,2
Венесуэла	1325	5,9	16,7	22,6	13,90%	22,57	58,7
Румыния	212	5,3	1,5	6,8	48,3	3,52	60,3
Ботсвана	12,2	0,13	0,07	0,2	2,3	0,20	62,4
Эквадор	442,4	1,9	8	9,9	31,1	6,82	64,9
Грузия	63,3	0,8	1	1,8	46	0,97	65,1
Руанда	13,3	0,1	0,1	0,2	2,6	0,19	68,3
Южный Судан	49,5	0,45	0,25	0,7	2,5	0,68	72,5
Сан-Томе и Принсипи	2,18	0,02	0,02	0,04	25	0,03	72,7
Замбия	104,8	0,4	1,2	1,6	14,2	1,37	76,3

Продолжение таблицы 4

Лесото	3	0,037	0,003	0,04	2,3	0,04	76,8
Уругвай	172,2	0,5	3,2	3,7	39,4	2,24	76,8
США	3069	268,2	176,2	444,4	91,1	39,55	77,6
Монголия	34,8	0,23	0,27	0,5	10,4	0,45	77,7
Эстония	12,71	1,79	0,01	1,8	91,1	0,16	79,3
Российская Федерация	4525	45,8	18,6	64,4	12,9	56,09	80,7
Кот-д'Ивуар	84,1	0,6	0,6	1,2	14,2	1,03	81,7
Чешская республика	13,15	1,5	0,1	1,6	90	0,16	82,2
Гондурас	92,2	0,4	1,2	1,6	30,2	1,12	82,6
Греция	68,4	2,2	9	11,2	92,7	0,82	83,7
Того	14,7	0,13	0,07	0,2	15	0,17	86,5
Гамбия	8	0,06	0,04	0,1	11,1	0,09	90,0
Беларусь	57,9	1	0,4	1,4	56,5	0,61	95,1
Уганда	60,1	0,35	0,25	0,6	2,4	0,59	102,6
Италия	191,3	17,1	16,9	34	94,7	1,80	106,2
Франция	211	23,3	3,1	26,4	92,5	1,98	106,6
Бруней	8,5	0,094	0,006	0,1	21,2	0,08	107,9
Словения	31,9	0,896	0,004	0,9	67,2	0,30	108,1
Коморы	1,2	0,005	0,005	0,01	5,6	0,01	127,1
Австралия	492	5,8	10,1	15,9	76,2	3,78	130,0
Панама	139,3	0,8	0,4	1,2	21,5	0,94	147,9
Мозамбик	217,1	0,4	1,1	1,5	6,7	1,40	155,1
Никарагуа	164,5	0,3	1,2	1,5	31,8	1,02	160,8
Перу	1880	3	13,1	16,1	28,3	11,54	162,9
Босния и Герцеговина	37,5	0,2	0,2	0,4	46,8	0,21	176,2
Намибия	39,9	0,09	0,21	0,3	26,3	0,22	180,5
Парагвай	387,8	0,5	1,9	2,4	16	2,02	192,4
Бразилия	8664	26,3	39,4	65,7	33	44,02	196,8
Гвинея-Бисау	31,4	0,05	0,15	0,2	21,4	0,16	199,7
Дания	6	0,4	0,3	0,7	95,9	0,03	209,1
Финляндия	110	6,4	0,2	6,6	92,3	0,51	216,5
Суринам	99	0,18	0,42	0,6	23,8	0,46	216,5
Колумбия	2360	7,2	6,4	13,6	21,3	10,70	220,5
Новая Зеландия	327	3,8	6,1	9,9	85,1	1,48	221,7
Венгрия	104	4	0,5	4,5	89,6	0,47	222,2
Гайана	271	0,1	1,3	1,4	18,5	1,14	237,5
Япония	430	26,9	54,3	81,2	97,8	1,79	240,7
Белиз	21,7	0,03	0,07	0,1	17,2	0,08	262,1

Продолжение таблицы 4

Чили	923,1	6	29,4	35,4	90,5	3,36	274,5
Бенин	26,4	0,075	0,025	0,1	4,3	0,10	275,9
Камерун	283,1	0,4	0,7	1,1	8,3	1,01	280,7
Ангола	148,4	0,55	0,15	0,7	29,2	0,50	299,4
Камбоджа	476,1	0,1	2,1	2,2	30,6	1,53	311,8
Канада	2902	33,1	2,6	35,7	75,9	8,60	337,3
Хорватия	105,5	0,63	0,07	0,7	60,3	0,28	379,6
Боливия	574	0,2	1,9	2,1	29,3	1,48	386,6
Ирландия	52	0,63	0,17	0,8	83,4	0,13	391,6
Словакия	50,1	0,57	0,03	0,6	79,8	0,12	413,4
Фиджи	28,55	0,04	0,06	0,1	31	0,07	413,8
Оман	1,4	0,4	1,2	1,6	99,8	0,003	437,5
Бутан	78	0,02	0,28	0,3	41	0,18	440,7
Южная Корея	69,7	12	17,2	29,2	99,5	0,15	477,4
Гвинея	226	0,3	0,3	0,6	21,4	0,47	479,2
Норвегия	393	1,85	0,85	2,7	75,7	0,66	599,0
Малайзия	580	3,6	3,1	6,7	87,8	0,82	709,6
Сьерра-Леоне	160	0,16	0,04	0,2	8,4	0,18	873,4
Германия	154	24,1	0,3	24,4	99,3	0,17	901,6
Литва	24,5	0,23	0,07	0,3	93,4	0,02	1237,4
ЦАР	141	0,099	0,001	0,1	0,6	0,10	1418,5
Великобритания	147	7,2	1,2	8,4	98,8	0,10	1458,3
Швеция	174	2,33	0,07	2,4	95,2	0,12	1510,4
Австрия	77,7	3,43	0,07	3,5	98,6	0,05	1585,7
Экваториальная Гвинея	26	0,019	0,001	0,02	22,3	0,02	1673,1
Люксембург	3,5	0,04999	0,0001	0,05	96,3	0,002	1891,9
ДР Конго	1283	0,63	0,07	0,7	12,3	0,61	2089,9
Исландия	170	0,2999	0,0001	0,3	73,5	0,08	2138,4
Габон	166	0,07	0,03	0,1	22,5	0,08	2141,9
Папуа-Новая Гвинея	801	0,399	0,001	0,4	10,8	0,36	2245,0
Латвия	34,9	0,13	0,07	0,2	93,1	0,01	2529,0
Либерия	232	0,092	0,008	0,1	14,3	0,09	2707,1
Швейцария	53,5	1,55	0,15	1,7	99,2	0,01	3933,8
Нидерланды	91	7,97	0,03	8	99,8	0,02	5687,5
Сингапур	0,6	0,48	0,02	0,5	99,99	0,0001	12000,0
Мальта	0,051	0,022	0,018	0,04	99,99	0,000004	12750,0
Республика Конго	832	0,05	0,002	0,05	7,2	0,05	17931,0
<b>Мир</b>	<b>54699</b>	<b>1127,16</b>	<b>2754,3</b>	<b>3881,5</b>	<b>47</b>	<b>2056,5</b>	<b>26,6</b>

**При существующей скорости загрязнения пресных вод и сохранении потребления на душу населения на современном уровне количество чистой воды катастрофически уменьшится к 2050 году (см. Таблицу 4). Данный прогноз – оптимистичен, так как показатель потребления пресной воды или общий водозабор, согласно официальным данным Всемирного банка, учитывался на уровне до 2017 г. <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWTL.K3>**

По состоянию на 2022 год, по статистическим данным, рост общего потребления пресной воды с учетом роста населения ежегодно составляет от 5 до 10%.

Перед *Homo sapiens* довольно остро стоит потребность в одинаковых показателях качества питьевой воды, указывающих как географические, так и временные показатели, позволяющие учитывать изменчивость загрязнения водной массы во времени и пространстве. Значения таких характеристик, как общий уровень загрязненности водного объекта, продолжительность и объем чистого и загрязненного стока, допустимая нагрузка водного объекта загрязняющим веществом, размеры возникающих зон загрязнения в реках, озерах, водохранилищах, накопление вредных веществ в водоемах, нуждаются в комплексном подходе и единых стандартах при их учете.

Исходя из текущего уровня загрязнения воды, в окружающую среду сбрасываются от 55% до 80% неочищенных сточных вод, что значительно превышает допустимые уровни естественных процессов самоочищения водоемов (<https://sdg6data.org/indicator/6.3.1>).

Сточные воды не могут быть очищены на 100%, и даже на 70-80%, причем эта вода непригодна для употребления человеком и может использоваться лишь в промышленности, и, частично, в сельском хозяйстве. По информации ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), ежегодно в мире умирает до 2 миллионов человек из-за болезней, вызванных потреблением некачественной питьевой воды.

Согласно достоверным данным, выясняется, что ежегодно в мире загрязняется колоссальное количество – от 2 до 3,1 тыс. куб. км поверхностных вод (<https://sdg6data.org/indicator/6.3.1>). Именно загрязнение водных объектов в настоящее время служит одной из основных причин нехватки воды, неустойчивости водопользования.

Страны, испытывающие острый дефицит пресной воды, для которых водопотребление выше, чем естественное восполнение водных ресурсов, – используют опресненную воду. Добыча воды из скважин не считается основным способом

водоснабжения населения, так как вследствие интенсивной откачки подземных вод происходит постепенное засоление водоносных горизонтов.

В 177 странах работает 16000 опреснительных заводов (<https://idadesal.org/wp-content/uploads/2019/04/The-state-of-desalination-019.pdf>) с объемом производства пресной воды – 95 млн м<sup>3</sup> в день, а также побочно образуемого солевого рассола – 142,5 млн м<sup>3</sup>. Для производства 1 л опресненной воды требуется 2,5 л морской воды. Средняя соленость воды Мирового океана – 35 г/л. Таким образом, соленость рассола от опресненной воды составляет около 87,5 г/л. **В результате ежедневно регионами сбрасывается в океан или оседает на суше 12,5 млн тонн отработанной и загрязненной соли.** В год – 4,6 млрд тонн соли. Это катастрофически действует на экологию региона и экосистему Мирового океана. При малых глубинах и отсутствии стока пресных вод в местах сброса рассола утраивается соленость воды, что приводит к удорожанию дальнейшего процесса опреснения.

Главная проблема опресненной воды – отсутствие международных стандартов на опресненную питьевую воду, содержащую дейтерий и кислород [18]. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) отмечает, что в морской воде содержатся тяжелые изотопы, несомненно, вредные для здоровья человека, которые не полностью удаляются из воды в результате опреснения.

Пока организм молодой (до 20 лет) тяжелые изотопы обычной водопроводной пресной воды незначительно влияют на здоровье. Однако в результате старения, стрессов и ряда внешних воздействий защитные силы организма ослабевают, а молекулы ДНК насыщаются дейтерием, ухудшается водообмен, снижается иммунитет [19].

В опресненной морской воде не хватает также четырех основных минералов, жизненно важных для здоровья человека – кальция, магния, фтора и йода. Минералы удаляются в процессе опреснения вместе с солями. [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001393511830358X>].

Несмотря на множество попыток, пока не удастся разработать дешевую и масштабную технологию опреснения соленой воды, которая позволила бы решить проблемы опустынивания большей части планеты, сельского хозяйства, здравоохранения, обеспечения населения продовольствием и, вместе с тем, значительно улучшила бы экологическую ситуацию на всей планете.



В марте 2019 года Ассамблея ООН по окружающей среде приняла резолюцию о защите морской среды от наземной деятельности, такой, как работа опреснительных установок. Это связано с наносимым экологическим ущербом [20].

Оценивая в целом создавшуюся в мире ситуацию, связанную с экологией, следует отметить, что лишь в нескольких регионах планеты она является удовлетворительной, в остальных сложной и очень сложной, несомненно, влияющей на продолжительность жизни людей и все биоразнообразие региона. Что касается обеспечения природными ресурсами образа жизни, которым живет сегодня большая часть *Homo consúmens*, то он не только не оправдан, но на основе данных вышеприведенных таблиц ясно, что продолжительность такого беспечного существования составляет никак не более 40-50 лет.

**Вот тут, очевидно, в первую очередь следует ответить на вопрос: а что будет, когда закончатся минеральные ресурсы планеты? Ведь это все вполне просчитано в обозримом времени.**

## II. ТОКСИЦИЗМ В ЖИЗНИ *HOMO CONSUMENS*

### 2.1 **Круговорот токсических структур в природе**

Природные экологические ниши характеризуются способностью аккумулировать разнообразные структуры химических соединений, динамика изменения которых четко показывает, что со временем их концентрация постоянно повышается. Круговорот чужеродных, в том числе и токсичных, углерод и азот содержащих соединений, постоянно осуществляется в окружающей среде, преобразуясь в приемлемые для *Ворлдбиома* формы. В результате естественных процессов, в ряде случаев, природа сама создает нехарактерные соединения токсичной природы. Однако, в значительно большей степени, образование токсикантов является результатом промышленных процессов: энергетики, транспорта, промышленности, сельского хозяйства и других форм деятельности человека. Образующая таким образом техногенная, нехарактерная для природы токсичность, имея тенденцию постоянного роста, отрицательно влияет на окружающую среду, в особенности на биоразнообразие. Согласно этой логике, химическое загрязнение окружающей среды делится на естественное и антропогенное.

Локальное ухудшение экологии, порой весьма существенное, может стать результатом природных стихийных процессов, таких как: извержение вулканов, часто сопровождаемое выделением ядовитых газов и нехарактерных стабильных химических соединений, образованных в высокотемпературных режимах подземелья; биологическое окисление природных соединений, имеющее всеобщий характер; выделение ядовитых газов из замкнутых воздушных пространств и болот, образуемых в результате деятельности аэробных и анаэробных консорциумов микроорганизмов; землетрясения и др. процессы.

Вред, наносимый окружающей среде от техногенной деятельности человека, во многом превзошел естественные стихийные процессы. Являясь результатом многоэтапной эволюции живой материи, человек обрел и развил разум, благодаря чему ему удалось создать большие источники энергии и на этой базе

существенно повлиять на ход естественных процессов. В результате урбанизации, непрогнозируемого роста промышленности, добычи и переработки нефти, транспорта, сельского хозяйства, непрекращающихся военных действий и т.д., *Homo sapiens* в результате сверхпроизводства и потребления создал мощное оружие из токсических контаминантов, направленное на самого себя. Согласно существующей идеологии, самой главной причиной неизбежной экологической катастрофы является беспрецедентное увеличение населения, которое потенциал планеты едва способен удовлетворить. Произошедшие изменения наглядно доказали несостоятельность бесконтрольной деятельности *Ворлдбиома*, жизненно необходимо, чтобы вектор его деятельности существенно сместился в сторону «экологизации» планеты. Другой важной причиной, существенно ускоряющей экологическую катастрофу за последние десятилетия, стал доминирующий в природопользовании технологический императив, непосредственно связанный с расточительным потреблением самых разнообразных товаров и всевозможных услуг, определяющих благосостояние *Homo consúmens* (человек потребляющий).

Современная научное общество, в течение последнего столетия создавшее технологии самого разного профиля, оцениваемые по их эффективности, далеко не полностью использует технологии нового поколения прошедших призму экологии. Не хватает многого: соответствующих глобальных, дружественных природе форм технологий, правильной оценки и доброй воли общества и необходимых инвестиций. Кроме того, ныне главенствующая цивилизация современного общества *Homo consúmens* (человек потребляющий), разными соблазнами создает несуществующие проблемы в реализации имеющегося научного потенциала, направленного на соблюдение экологического баланса окружающей среды. Разумеется, в рамках данной монографии, невозможно детально описать даже небольшую часть факторов, определяющих существующий в природе экологический дисбаланс. Поэтому в задачу авторов входит лишь дать представление об их существовании и воздействии на природу.

### 2.1.1 Токсические вещества биологического происхождения

Токсичные компоненты, создаваемые природой (*Ворлдбиомом*), являются не только компонентами атмосферного воздуха, почвы и водных резервуаров, но и составной частью всего живого мира растений, микроорганизмов, млекопитающих и человека, будучи причиной серьезных патологий и неестественных

природных процессов. Населяющие планету организмы вынуждены для собственной защиты обладать еще какими-то дополнительными защитными свойствами против всеобщей и разнообразной агрессивности организмов окружающей среды.

Так, например, яды биологического происхождения встречаются как высокомолекулярные вещества белкового типа, хотя известны и низкомолекулярные токсины: тетродотоксин, яды животных и другие [31]. Токсины, образуемые микроорганизмами, растениями и животными организмами, характеризуются универсальным географическим распределением. Своим действием на организм человека они угнетают физиологию, ингибируя активность ферментов, нарушают ход метаболических процессов. В большинстве случаев действия ядов биологического происхождения характеризуются летальным исходом. По действию токсины делятся на следующие группы (таблица 5).

### Классификация токсинов по их действию на организм человека

Таблица 5

№ п/п	Наименование токсинов	Характер действия
1	2	3
	Гемотоксины (Heamotoxins)	Действуют на кровь
2	Нейротоксины (Neurotoxins)	Действуют на нервную систему
3	Миотоксины (Myotoxins)	Действуют на мышцы
4	Геморрагические токсины (Haemorrhaginstoxins)	Поражают кровеносные сосуды
5	Гемолитические токсины (Haemolysinstoxins)	Поражают эритроциты
7	Нефротоксины (Nephrotoxins)	Нарушают деятельность почек
8	Кардиотоксины (Cardiotoxins)	Нарушают сердечную деятельность
9	Некротоксины (Necrotoxins)	Вызывают некроз

Самым сильным природным ядом считается токсин ботулизма типа D (летальная доза составляет  $0,32 \cdot 10^{-6}$  мг/кг), который по степени ядовитости в миллионы раз превосходит цианид калия. За ним следуют токсин ботулизма типа A, диоксин, тетродотоксин (рыба фугу), яды морских змей, яд кобры, цианид водорода, цианид калия. Из небелковых ядов самым сильным является батрахотоксин – выделенный из кожи колумбийской лягушки.

Естественные яды, образуемые и используемые различными организмами для самозащиты, являются нейротоксинами. Это: ботулотоксин, понератоксин, тетродотоксин, батрахотоксин, яды пчел, змей и скорпионов (таблица 6).

## Общие характеристики природных токсинов

Таблица 6

Название	Источник	Молекулярная масса, Д	LD50	
			мг/кг	ммоль/кг
1	2	3	4	5
Ботулинический токсин А	Палочка ботулизма	150000	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-13}$
Ботулинический токсин В	Палочка ботулизма	167000	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$0,6 \cdot 10^{-13}$
Тетанический токсин	Палочка столбняка	140000	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-13}$
Рицин	Семена клещевины	65000	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-8}$
Тайпоксин	Яд австралийского тайпана	42000	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-8}$
Бета-Бунгаротоксин	Яд крайта	28500	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$8,8 \cdot 10^{-7}$
Кобротоксин	Яд кобры	6782	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
Токсин II	Яд скорпиона	7249	$0,9 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$

По механизму действия токсины биологического происхождения значительно отличаются друг от друга. Нейротоксины как исключительно высокотоксичные соединения служат для защиты синтезирующих их организмов-хозяев (от микроорганизмов до позвоночных). Другой тип таких соединений – нейротоксины, попадающие в организм из внешней среды, являются экзотоксинами, к ним относят газы (СО), металлы (ртуть), жидкости (этанол), а также ряд твердых веществ.

Гемотоксины, образуемые животными организмами, растениями и микроорганизмами, повреждают оболочки эритроцитов крови и разрушают красные кровяные клетки, т.е. вызывают их гемолиз [33]. Установлено существование гемотоксинов различного происхождения, образуемых условно патогенными и патогенными стрептококками, стафилококками и другими микроорганизмами; растениями (кроцин, сапонины и др.); животными организмами, такими как паразитические черви, пауки (арахнолизины), змеи (яды). Результатом действия перечисленных и ряда других химических соединений, включая лекарственные препараты, является нефротоксичность, которая поражает печень. Чаще нефротоксичность проявляется до приема лекарств у лиц, имевших признаки снижения функции печени.

Перечень существующих природных токсикантов, их структуры, функции и механизмы действия на популяцию *Homo sapiens* не являются до конца изученными.

ми и кроме реального практического интереса представляют большую ценность с точки зрения медицины и современной токсиколого-экологической науки.

### 2.1.2 Неприродные токсичные вещества

Существует категория загрязняющих веществ, которые характеризуются неестественной структурой, не подлежат биодegradации или деградируют очень медленно в течение долгого времени, то есть обладают высокой стабильностью в условиях окружающей среды, все они проявляют токсичные свойства. Это: химические соединения, образованные в процессе неполного сгорания органических веществ; химически синтезированные пестициды; некоторые виды удобрений; лаки и краски; органические растворители; эмульгаторы; консервирующие агенты; нефтепродукты; продукты бытовой химии; химикаты, используемые в производстве полимеров (полимеры, мономеры, пигменты, пластификаторы, стабилизаторы и другие); продукты фармакологической промышленности; поверхностно-активные вещества (ПАВ); фреоны; взрывчатые вещества; упаковочные материалы и др.

К особой группе загрязняющих веществ относятся радионуклиды, представляющие собой источник ионизирующего излучения и крайне отрицательно влияющие на все организмы и жизненные процессы. Радионуклиды – это особая группа экологически крайне опасных для окружающей среды загрязняющих веществ, для нейтрализации которых разрабатываются специальные ремедиационные мероприятия, включающие экологические технологии, которые должны обеспечивать их максимальное уменьшение или полное удаление из экосистем [34].

Отдельной группой токсичных соединений являются повсеместно распространенные тяжелые металлы, результат разных токсичных, промышленных выбросов в атмосферу и составные компоненты природных экологических ниш.

Тяжелые металлы являются химическими элементами с определенной плотностью, которая по крайней мере в 5 раз выше плотности воды. В малом количестве эти элементы необходимы для живых организмов, но повышенное содержание любого из них вызывает острое или хроническое отравление. Токсичность тяжелых металлов в повышенном количестве проявляется подавлением роста и развития микроорганизмов и растений, нанесением серьезного ущерба здоровью человека и животных. Тяжелые металлы вызывают наруше-

ние функции центральной нервной системы, изменение состава крови, отрицательно влияют на функции легких, почек, печени и других органов, вызывают образование опухолей, аллергию, дистрофию, физические и неврологические дегенеративные процессы. Из 35 металлов 23 нашли широкое применение и производятся в промышленных масштабах. Мышьяк, свинец, ртуть и кадмий по характерной этим элементам токсичности занимают соответственно 1-е, 2-е, 3-е и 7-е места.

## 2.2 Тяжелые металлы

### 2.2.1 Мышьяк

Одним из самых токсичных элементов, активно используемых в самых разных сферах деятельности, является полуметалл мышьяк. Все соединения мышьяка чрезвычайно токсичны. При нагревании они разлагаются, что вызывает распространение ядовитых паров мышьяка. Источниками загрязнения окружающей среды мышьяком являются: эмиссия при добыче и переработке мышьяковых руд; производство мышьяка и его соединений; плавление меди, свинца и цинка; горение каменного угля и т.д. Соединения мышьяка – оксиды, арсениды и арсенаты – используются в основном для обработки древесины, зарегистрировано использование для этой цели 88% всего количества мышьяка. Соединения мышьяка входят в состав инсектицидов, гербицидов и десикантов, применяются при изготовлении разных видов стекол, антикоррозионных сплавов, боеприпасов, кислотных аккумуляторов. Мышьяк высокой чистоты используется в полупроводниках, солнечных батареях, светодиодах, лазерах и интегральных схемах.

Соединения мышьяка, попадающие в атмосферу с выбросами, оседают на поверхности почвы, водоемов, адсорбируются и проникают в растения, а далее попадают и в пищевую цепь.

Мышьяк и его соединения – канцерогенные вещества. Они вызывают образование опухолей кожи, печени, кишечника, мочевого пузыря и легких.

Некоторые тропические водоросли устойчивы к действию мышьяка. Они способны поглощать мышьяк в виде арсената, восстанавливать его до арсенида и связывать с фосфолипидами. Образованные конъюгаты сохраняются в жировых капельках или клеточных мембранах. При высоком содержании фосфатов

в воде те же водоросли лишаются способности обезвреживать токсичные действия арсенат-ионов и погибают. В этом случае мышьяк ковалентно связывается с сульфгидрильными группами ферментов, вызывая существенное ингибирование их активности.

Усваивать и преобразовывать соединения мышьяка способны некоторые виды мицелиальных грибов и бактерий. Например, метаногенные бактерии в аэробных условиях способны превращать неорганический мышьяк в метилированные соединения, которые с помощью ферментов восстанавливаются до летучих алкиларсинов.

### 2.2.2 Свинец

Одним из широко применяемых в промышленности тяжелых металлов является свинец. Металлический свинец и его соединения – оксиды, галогениды, карбонаты, хроматы, сульфаты и др. – применяются в машиностроении, при производстве аккумуляторов, пьезоэлектрических элементов, резины, стекла, глазури, эмалей, олифы, замазок; в полиграфии; для изготовления красок, в частности свинцовых пигментов и белил; служат добавкой к лакам и краскам для повышения устойчивости покрытий; используются в качестве антидетонаторных добавок к бензину; для защиты от  $\gamma$ -излучения и т.д.

Объем мирового производства свинца составляет несколько миллионов тонн в год. К числу наиболее важных техногенных источников эмиссии свинца относятся: выбросы и сточные воды, образующиеся при высокотемпературных технологических процессах металлургической, металлообрабатывающей, машиностроительной, химической, химико-фармацевтической, нефтехимической и других отраслей промышленности; выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания; добыча, транспортировка и переработка металла; стирание деталей, содержащих свинец и т.д. Высокая степень загрязнения свинцом установлена и в почвах на местах военных действий и полигонов [36].

С выхлопными газами соединения свинца (оксиды, хлориды, фториды, нитраты, сульфаты и т.д.) выносятся в виде твердых частиц, около 20% которых оседает в непосредственной близости от дороги. Поэтому непосредственно вдоль шоссе дорог не рекомендуется разводить плантации сельскохозяйственных растений, особенно быстрорастущих овощных культур, которые не успевают в процессе метаболизма деградировать токсичные соединения.

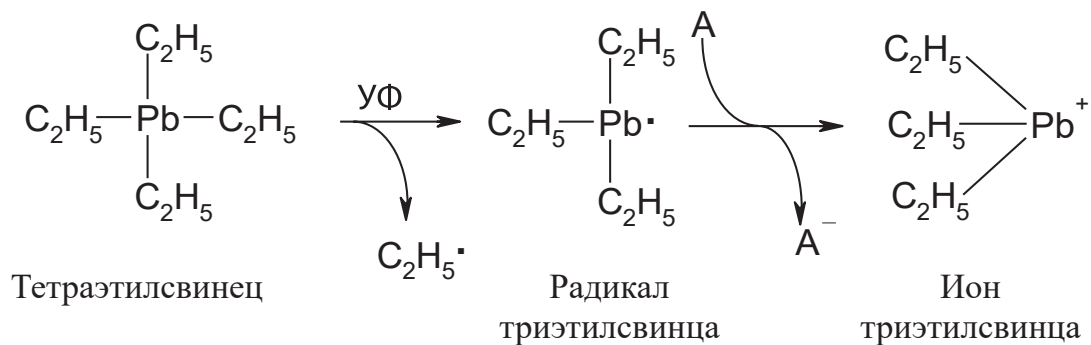


Избыточное содержание свинца в почве ведет к уменьшению числа основных представителей почвенного микробиоценоза. Степень токсичности свинца для микрофлоры зависит от типа почвы: в черноземах нейтрализация токсичности происходит быстрее, чем в других почвах. Наиболее устойчивыми к соединениям свинца являются некоторые представители эукариот – микроскопических грибов и прокариот. Значительно более остро реагируют на присутствие свинца актиномицеты и азотфиксирующие бактерии. Очевидно, присутствие этих организмов также можно использовать в качестве биоиндикаторов, указывающих на степень загрязнения свинцом.

В почве уровень свинца, снижающий урожай или высоту растений на 5-10%, считается токсичным. При содержании свинца в почве выше 50 мг/кг, его концентрация в огородных культурах превышает допустимую норму. Следует отметить, что в человеческий организм свинец попадает в основном через пищевые цепи (около 90%), из них 60-70% приходится на продукты растительного происхождения [37].

Свинец вызывает хроническое отравление, называемое «сатурнизм», с разнообразными клиническими проявлениями: поражает центральную и периферическую нервную системы, костный мозг, кровь, сосуды, подавляет синтез белка, действует на генетический аппарат клетки, оказывает гонадотоксическое и эмбриотоксическое действие, активирует онкологические процессы [38].

Разница токсичности всех соединений свинца объясняется неодинаковой растворимостью этих соединений в желудочном соке, кишечнике, крови и цитоплазматической жидкости организма. Труднорастворимые соединения свинца также подвергаются преобразованиям в кишечнике, в результате чего их растворимость и всасываемость существенно повышаются. Свинцовые белила, сульфат и оксид двухвалентного свинца токсичнее других соединений. Особой токсичностью характеризуются соединения свинца, содержащие токсичный анион, например, ортоарсенаты, хроматы и азид. Бицидными свойствами отличаются органические соединения свинца, в частности тетраэтилсвинец, который применяется для повышения октанового числа бензина. Летучий тетраэтилсвинец быстро распространяется в воздухе и в результате действия УФ-лучей расщепляется на радикалы (рисунок 10). Радикал триэтилсвинца реагирует с разными веществами (А), обладающими акцепторными свойствами [35].



**Рис. 10.** Образование радикала и иона триэтилсвинца из тетраэтилсвинца (А – акцептор)

Образовавшийся ион триэтилсвинца  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_3^+$  за счет ионного заряда проявляет гидрофильные свойства, а наличие этильных групп придает иону липофильный характер, благодаря чему ион триэтилсвинца легко проникает через клеточные мембраны и связывается с атомами серы, белками и пептидами, вызывая изменения в их структуре. Следует отметить, что ввиду высокой токсичности применение этилированного бензина во многих странах запрещено или ограничено.

### 2.2.3 Ртуть

Этот тяжелый металл существует в земной коре в виде киновари ( $\text{HgS}$ ), относительно безвредного вещества. Потребительская деятельность *Homo consumens* привела к накоплению в Мировом океане более 50 миллионов тонн этого тяжелого металла в виде токсичных соединений. К особо важным антропогенным источникам распространения ртути относятся: электрохимическое производство хлора, ртутьсодержащих приборов, красок для синтеза и другие [39]. Природными источниками являются: выветривание горных пород, активность вулканов.

В природных условиях соединения ртути в основном адсорбируются в речных отложениях. Ртуть начинает медленно высвобождаться из них и растворяться в воде, что приводит к образованию хронического источника загрязнения. Первоначально ртуть попадает в воду в виде иона  $\text{Hg}^{2+}$ , затем под действием анаэробных микроорганизмов быстро взаимодействует с органическими веществами и образует чрезвычайно токсичные соединения: диметилртуть ( $\text{CH}_3\text{-Hg-CH}_3$ ) и ион метилртути ( $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$ ) [40]. Из-за высокой растворимости метилртуть быстро проникает в гидробионты (водоросли, моллюски, рыбы и т.д.), откуда попадает в пищевую цепь крови, в мозговую ткань, разрушая мозжечок и кору го-

ловного мозга. Клинические симптомы такого поражения – оцепенение, потеря ориентации, ухудшение зрения. Отравление соединениями ртути может привести к летальному исходу.

Соединения ртути вызывают инактивацию некоторых ключевых ферментов клеточного метаболизма, в частности цитохромоксидазы, принимающей участие в процессе дыхания. Кроме того, ртуть может соединяться с сульфгидрильными и фосфатными группами, инактивировать ферменты, содержащие сульфгидрильные группы, и повреждать клеточные мембраны.

#### 2.2.4 Кадмий

Тяжелым металлом, характеризующимся высокой токсичностью, является кадмий, который обладает очень высокой подвижностью и проницаемостью. Металлический кадмий и его соединения применяются преимущественно для производства пигментов, в качестве стабилизатора пластмасс (особенно поливинилхлорида), для изготовления аккумуляторов, стержней атомных реакторов, электрических кабелей, автомобильных радиаторов, припоев, сплавов, фосфорных удобрений и т.д.

Сульфид ( $CdS$ ) и селенид ( $CdSe$ ) кадмия представляют собой термоустойчивые красители соответственно желтого и красного цветов и применяются в полиграфии, при производстве лаков, красок и резиновых изделий, а также при окраске кож. Оксид ( $CdO$ ) и карбонат ( $CdCO_3$ ) кадмия находят применение для окраски стекол, приготовления эмалей, нанесения глазури на керамику и т.д. [41].

Важнейшими антропогенными источниками эмиссии кадмия в атмосферу являются: производство стали и других металлов, сжигание горючих ископаемых и мусора, табачный дым, использование удобрений, сточные воды промышленных предприятий, вымывание кадмия из сельскохозяйственных плантаций и т.д. [41].

Кадмий присоединяется в основном к частицам пыли, которые могут проникать в организм при дыхании. При осаждении кадмия из атмосферы (сухого и влажного) растения активно с ним контактируют, причем часть кадмия может проникать в листья через кутикулы. Если в растениях образуется высокая концентрация кадмия, то чаще всего это приводит к нарушению нормального роста. Например, снижается урожайность бобовых и моркови на 50%. В отличие от растений, многие виды грибов накапливают кадмий в большом количестве.

Основным источником попадания кадмия в животные организмы является пища. Кадмий снижает активность таких важных ферментов пищеварительного

тракта, как трипсин и пепсин. Кроме того, кадмий антагонист кальция – при дефиците кальция в организме кадмий накапливается в повышенном количестве. Так как потребность в кальции у молодых организмов выше, чем у взрослых, следовательно, они в большей степени подвержены накоплению кадмия. Повышенное накопление кадмия вызывает болезнь «итай-итай», которая выражается в снижении содержания кальция в костях, что приводит к их размягчению. В почках, печени и желчном пузыре кадмий связывается с белками и пептидами, которые участвуют в обмене кадмия между различными тканями и органами. Наиболее чувствительным и поражаемым кадмием органом являются почки. Избыточный кадмий вступает в конкуренцию с цинком, ингибирует действие цинк-содержащих ферментов, чем нарушается нормальное функционирование почек [42]. В результате возникает протеинурия. В печени кадмий блокирует ферментные системы, содержащие сульфгидрильные группы.

Дождевые черви обладают способностью быстрого накопления кадмия из почвы, вследствие чего они часто используются как тест для биоиндикации кадмия в почве.

## 2.3 Канцерогенные ароматические углеводороды

### 2.3.1 Бензол

Более 90% производимого бензола связано с нефтехимической промышленностью, остальная часть приходится на коксохимическое производство и природный газ. Крупнейший экспортер бензола Великобритания ежегодно производит около миллиона тонн бензола.

Основой токсичности многих органических соединений является ароматическое кольцо бензола. Сам бензол и его гомологи чрезвычайно токсичны.

Большая часть бензола и его гомологов в виде разных смесей (так называемый БТЭК /БТЭК по-русски, ВТЕХ по-английски/ – бензол-толуол-этилбензол-ксилол) применяется во многих видах топлива с целью повышения октанового числа горючего, заменяя при этом очень токсичную добавку бензина – тетраэтилсвинец. Кроме того, бензол применяется как сырье в производстве стирола, циклогексана, этилбензола, кумола, нитробензола, анилина и др., а также как растворитель, или добавочный компонент при производстве красок, чернил, резины, клея, смесей, выводящих пятна, при производстве мебели, моющих средств, лекарств, пестицидов. Бензол является также компонентом дыма сигарет.

Основными антропогенными источниками распространения бензола и его гомологов в окружающей среде являются:

- выброс бензола при очистке и переработке сырой нефти;
- эмиссия от предприятий, производящих и перерабатывающих смолу и уголь;
- отходы производств, в технологических схемах которых бензол является конечным продуктом синтеза;
- эмиссия при сгорании топлива и горючих ископаемых;
- утечка из подземных резервуаров (танков) для хранения горючих продуктов.

Бензол прежде всего попадает в атмосферу в процессе производства или использования, откуда проникает в другие экосистемы. В разных количествах бензол содержится в водах океанов, морей, озер, водохранилищ и рек, в грунтовых водах, даже в питьевой воде, почве, осадках и др.

Бензол и его гомологи – давно и хорошо известные канцерогенные вещества, вызывающие лейкемию. Попадая в печень или в легкие, бензол, будучи неполярным и относительно устойчивым соединением, подвергается первичному окислению цитохром Р450-содержащей монооксигеназой, в результате чего образуются бензол-оксипин и оксид бензола [43]. Эти соединения характеризуются более высокой растворимостью в воде и более реакционноспособны, чем сам бензол.

Далее продукты первичного окисления бензола из печени потоком крови переносятся в другие органы, включая костный мозг. В этих тканях бензол-оксипин и оксид бензола подвергаются следующим ферментативным превращениям: сначала они восстанавливаются до фенола, который затем окисляется до пирокатехина или гидрохинона. Эти дифенолы, в свою очередь, окисляются до бензохинонов. Превращения дифенолов в основном катализируются ферментами клеток костного мозга. Образовавшиеся бензохиноны характеризуются чрезвычайно высокой реакционной способностью. Каждый из них за счет оксогрупп может связывать две молекулы белка или нуклеиновых кислот, что приводит к нарушению их нормальной биологической функции [43].

### 2.3.2 Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

Полициклические ароматические углеводороды, являющиеся высокотоксичными соединениями, почти нерастворимы в воде, имеют высокую температуру кипения и с большими сложностями подвержены биологической деградации

[35]. Эти соединения получили довольно широкое распространение в окружающей среде: 3,4-Бензпирен; 1,2-5,6-Дебинзатрацен; 7,12-Диметилбензантрацен; 3-Метилхолантрен; 3,4-Бензофлуорантрен.

ПАУ в промышленных масштабах не производятся, соединения этого класса образуются в процессе горения и содержатся во многих природных материалах. Представителей ПАУ можно также встретить в смолах, битумах, саже, гуминовых компонентах почвы, выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания, в копченых продуктах, табаке и многих других продуктах. ПАУ определяется в воздухе, воде и почве. Эти соединения чрезвычайно устойчивы в любой среде, что создает реальную опасность их накопления в живых организмах в повышенных концентрациях.

В подавляющем большинстве случаев для ПАУ характерны канцерогенные свойства. При попадании в организм под действием ферментов из ПАУ образуются эпоксисоединения, реагирующие с гуанином. Это препятствует синтезу ДНК, вызывает нарушение транскрипционных процессов, часто приводит к возникновению мутаций, способствует развитию раковых заболеваний.

Обезвреживать ПАУ способно лишь небольшое число микроорганизмов и растений, путем их деградации до обычных клеточных метаболитов [44].

## 2.4 Пестициды

Химикаты, которые являются широко распространенными современными средствами защиты растений, созданные *Homo consúmens* в основном путем химического синтеза, объединены под общим названием «пестициды». С учетом ареала их распространения в настоящее время они представляют собой самые масштабные соединения, загрязняющие окружающую среду, в первую очередь почву. По последним данным Агентства по охране окружающей среды (EPA) и Всемирной организации здравоохранения (WHO), к пестицидам относят более 1000 соединений, представляющих различные химические классы. Среди них: амиды, дипиридилы, дифенилэферы, тиокарбаматы, карбаматы, карбамида, кумарины, нитрофенолы, пиразолы, пиретроиды, триазины, феноксиацетаты, производные мочевины. К этому классу соединений принадлежат также элементоорганические соединения, содержащие хлор, бром, фтор, фосфор, мышьяк, олово, ртуть, медь и другие. Производство пестицидов ежегодно растет, что, предположительно, со-

ставляет не менее одного миллиарда тонн в год, это вызвано все более широким масштабом их применения в сельском хозяйстве [45-47]. Пестициды подразделяют по характерным для них свойствам и по структуре углеродных каркасов.

Широко используемые фосфорорганические пестициды представляют собой эфиры фосфорной и тиофосфорной кислот (например, инсектициды – алкилфосфаты, паратион), а также карбаматы (например, гербициды – барбан и бетанал, фунгицид – манеб и другие), являются химическими агентами, действующими губительно на нервную систему. Они блокируют активный центр ацетилхолинэстеразы. Этот фермент удаляет с нервного синапса нейротрансмиттер – ацетилхолин. В результате ингибирования ацетилхолинэстеразы происходит накопление избыточного ацетилхолина на синапсе, что вызывает нарушение передачи сигнала ацетилхолиновым рецептором.

К очень активным по своему действию соединениям относятся хлорорганические инсектициды (хлордан, линдан, диелдрин, дихлордифенилтрихлорэтан – ДДТ). Используемые в виде раствора эти пестициды легко проникают в организм человека, как через пищеварительные органы, так и через кожу. Из-за высокой липофильности они накапливаются в жировых тканях, поражают мембраны клеток. Хлорорганические инсектициды оказывают особо вредное воздействие на мембраны нервных клеток и нарушают их нормальный цикл. Почти все хлорорганические инсектициды характеризуются ярко выраженными канцерогенными свойствами. При попадании в организм в больших количествах фосфатов и карбаматов, алкилфосфатов (триэтилфосфатов) и других проявляются признаки таких болезней, как слюнотечение, отек легких, колики, понос, тошнота, ухудшение зрения, увеличение кровяного давления, мышечные спазмы и судороги, нарушение речи, паралич дыхательных путей и др. Хлорорганические соединения изменяют возбудимость нервных клеток. Вначале повреждают нервные пути, а затем при более высоких концентрациях и сенсорные нейроны. Среди других характерных для этих пестицидов патологий следует отметить, что хлордан и диелдрин являются соединениями с ярко выраженным канцерогенным характером действия.

Неограниченное применение ДДТ привело к его повсеместному распространению, что в первую очередь связано с его хорошей растворимостью в жирах. Данный фактор определил внедрение этого инсектицида в цепь питания, причем в последних звеньях питательной цепи происходит концентрирование инсекти-

цида, который почти в миллион раз превышает его концентрацию в естественных условиях. Примером такого необычайно большого накопления служит цепь питания от дождевой воды через жвачных животных к материнскому молоку.

ДДТ хорошо сорбируется на глинах, а также накапливается в перегное с сосновыми иглами, где этот инсектицид растворяется в восковом веществе сосновой хвои, чем оказывает крайне отрицательное действие, как на сами деревья, так и локально на экосистему, уничтожая многие характерные для сосен организмы.

ДДТ представляет собой типичный контактный яд, быстро проникающий через кожу. Он нарушает нормальный цикл в мембранах нервных клеток, так как понижает чувствительность  $\text{Na}^+$ -насоса, поэтому после возбуждения нервных сигналов не происходит восстановления нормального потенциала покоя. Попадание в организм большого количества ДДТ вызывает паралич конечностей. Предполагается, что через материнское молоко этот инсектицид может серьезно вредить здоровью ребенка или, проникая в половые железы (гонады), нарушить способность к деторождению.

В обычных условиях ДДТ распадается медленно и не полностью. В аэробных условиях продуктами распада являются производные дихлорэтилена, менее токсичные, чем сам ДДТ; в анаэробных условиях образуются производные дихлорэтана, которые легко трансформируются в производные уксусной кислоты [35].

Физиологическое действие гербицидов, оказываемое на организм человека, отличается от их действия на растения. Так, 2,4-Д и 2,4,5-Т обладают гербицидными свойствами в меньшей степени, чем сопутствующий в качестве примеси 2,3,7,8-тетрахлордиоксибензодиоксин (ТХДД), характеризующийся крайне высокой токсичностью. Токсичность этого вещества в 500 000 раз выше, чем токсичность самого гербицида. Если содержание ТХДД в гербициде составляет даже 0,005 мг/кг, эту концентрацию нельзя считать экологически безвредной. ТХДД в любых природных средах отличается исключительной устойчивостью.

Современный исторический факт [48]: в небольшом американском городке Таймс-Бич (штат Миссури) на грунт ипподрома разбрызгали примерно  $10 \text{ м}^3$  технического масла, чтобы не поднималась пыль во время скачек. Через несколько дней ипподром был усеян трупами птиц, еще через день заболели наездник и три лошади, а в течение месяца погибли: 29 лошадей, 11 кошек и четыре собаки. Спустя 3 месяца заболели еще несколько взрослых и детей, после чего власти были вынуждены провести специальное расследование, чтобы установить ис-



тинную причину происходящего. Виной оказались диоксины и фураны, концентрация которых в грунте ипподрома достигала 30-53 мг/кг. Техническое же масло представляло собой отходы производства 2,4,5-трихлорфенола – промежуточного продукта при производстве 2,4,5-Т. Это вещество, представляющее собой дефолиант, известно под названием «Оранжевый реагент», что явилось причиной катастрофы в Таймс-Бич.

Дипиридилы – например, гербицид паракват уже при внешнем контакте с кожей вызывает образование волдырей и язвы. При попадании в организм повреждает почки и печень, а затем вызывает фиброзные изменения легких, приводящие к летальному исходу. Пиретроидные пестициды представляют собой синтетические аналоги широко распространенного инсектицида пиретрина, соединения, выделенного из хризантемы.

Наиболее высокую деконтаминационную активность почти всех токсичных соединений проявляют микроорганизмы разных таксономических групп (бактерии, грибы, актинобактерии). Растения по аналогии с микроорганизмами обладают способностью ассимилировать и токсичные соединения антропогенного происхождения и, за счет гидролитических и окислительно-восстановительных, ферментативных реакций, осуществлять их деградацию, то есть обезвреживать их, доводя структуры токсичных соединений до обычных клеточных метаболитов или до воды и углекислоты. Этот путь детоксикации многих токсикантов на основе их метаболических превращений в растениях и микроорганизмах, будучи полностью естественным, является наиболее дружелюбным *Ворлдбиому* для улучшения им же созданной многофакторной биологической среды. При этом продукты внутриклеточной деградации токсикантов, включая атомы углерода, составляющие хребет структуры токсикантов, используются растительной и микробной клеткой в конструктивном синтезе соединений, требуемых клетке.

## 2.5 Хлорорганические токсиканты

К хлорорганическим токсикантам, помимо хлорсодержащих пестицидов, относятся также диоксины, полихлорированные бифенилы, хлорированные производные метана, этана, этилена и другие. Атомы хлора, входящего в состав этих соединений, значительно усиливают их устойчивость к действию оксидаз (окислительных ферментных систем), участвующих в процессах, как абиотического

окисления, так и детоксикации хлорорганических токсикантов. Кроме этого, большинство соединений, содержащих хлор, отличаются высокой липофильностью, благодаря чему легко достигают мембранных барьеров клетки и почти беспрепятственно накапливаются в разных органах, в том числе и в ядре, вызывая необратимые изменения [49-53].

### 2.5.1 Диоксины

Это группа соединений, в которую объединены полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны.

Диоксины – высокотоксичные вещества, обладающие тератогенным, мутагенным и высоко канцерогенным характером действия [54-56]. В окружающей среде диоксины всегда представлены в виде сложной смеси конгенов и изомеров. Диоксины образуются в результате технологических процессов химических предприятий, которые производят хлор, хлорорганические пестициды, полихлорбензолы, хлорированные алканы и алкены. В процессе электрохимического производства хлора при взаимодействии угольного анода, хлора и кислорода воздуха образуются диоксины, которые в виде примеси присутствуют в образованном газе, почти одновременно подвергаясь хлорированию.

Исключительно высокой способностью загрязнения окружающей среды диоксинами характеризуется целлюлозно-бумажное производство, в котором обязательным этапом является обработка древесины хлорированными реагентами с целью удаления лигнина и остальной фенольной части. При этом образуется большое количество диоксинов. То же самое происходит при производстве бумаги, когда хлор или соединения хлора используются как отбеливающие агенты.

Причиной эмиссии диоксинов в атмосферу являются также высокотемпературные химические процессы, в которых участвуют содержащие хлор органические и неорганические соединения [57]. Это процессы сжигания твердых коммунальных отходов, автомобильный транспорт. Так как 1,2-дихлорэтан добавляют в топливо с целью уменьшения оседания соединений свинца на внутренние части двигателя, работающего на этилированном бензине.

Диоксины, подобно другим полихлорированным соединениям, характеризуются очень высокой устойчивостью к трансформации в биотических и абиотических условиях. Обладая канцерогенным эффектом и токсичным характером действия на живые организмы, диоксины представляют реальную угрозу для окружающей среды и здоровья человека.

При попадании на кожу они вызывают хлоракне – заболевание, которое характеризуется особо тяжелыми повреждениями кожи, в результате чего надолго остаются незаживающие язвы. Диоксины вызывают также заболевания, которые повреждают эндокринную систему, нарушают функцию участвующих в половом развитии желез, губительно действуют на развитие эмбриона. Под влиянием диоксинов в организме развивается иммунодефицит, в результате чего увеличивается восприимчивость к инфекционным заболеваниям.

Ввиду исключительной стабильности структур диоксины с очень большим трудом поддаются биодеградации. Их полная минерализация возможна только в особом случае, благодаря совместным действиям анаэробных и аэробных бактерий. Как было установлено, существует бактерия, способная разрушать эти токсиканты, это анаэробная бактерия *Dehalococcus* sp., которая путем восстановительного дегалогенирования удаляет из молекулы диоксина атомы хлора [128]. При этом образуется р-диоксин, который преобразуется действиями ферментов диоксигеназ и гидролаз, в результате чего ароматическое ядро расщепляется и образуются стандартные клеточные метаболиты. В эукариотических организмах эффект такого же действия обнаружился у некоторых штаммов базидиальных грибов, представителей рода *Phanerochaete chrysosporium* [129].

Некоторые представители почвенных мицелиальных грибов и актинобактерий отличаются исключительно высокой чувствительностью к диоксидам. Отсутствие этих микроорганизмов в почве можно использовать как один из признаков биоиндикации загрязнения диоксидами.

### 2.5.2 Полихлорированные бифенилы

Полихлорированные бифенилы – группа соединений, отличающихся особо сильной токсичностью [57]. Полихлорированные бифенилы (PCBs – Polychlorinated Biphenyls) объединяют более 20 особенно токсичных соединений. Все полихлорированные бифенилы характеризуются исключительно высокой термоустойчивостью, не горят и поэтому используются в электротехнике, полиграфии, в производстве бумаги, чернил и красок. В виде добавок против возгорания используются в трансформаторах и технических маслах, различных теплопередающих жидкостях, пластмассах, в упаковочных материалах, как составные фрагменты пестицидов. Полихлорированные бифенилы практически не растворяются в воде и характеризуются высокой температурой кипения [58]. Не-

смотря на это, эти соединения (PCBs) в большом количестве распространены в окружающей среде. Из-за исключительно высокой устойчивости их структур в естественных условиях эти токсиканты долго сохраняются в неизменном виде, а благодаря высокой липофильности легко концентрируются в растительных и животных тканях, откуда попадают в пищевую цепь и создают большую опасность для здоровья человека.

Устойчивость полихлорированных бифенилов в значительной степени обуславливают атомы галогена. В случае содержания в их молекулах хлора менее 30% от общей массы, бифенилы менее устойчивы, более биodeградебельны и выводятся из организма легче, чем бифенилы, в молекулах которых хлор составляет не менее 60% от общей массы.

### 2.5.3 Хлорированные алканы и алкены

Из токсичных производных углеводородов следует отметить хлорзамещенные алканы и алкены, какими являются: тетрахлорметан  $CCl_4$ , дихлорметан  $CH_2Cl_2$ , хлороформ  $CHCl_3$ , дихлорэтан  $CH_2Cl-CH_2Cl$ , винилхлорид  $CH_2=CHCl$ , трихлорэтилен  $CCl_2=CHCl$ , тетрахлорэтилен  $CCl_2=CCl_2$  и другие. Эти соединения в большом количестве используются в органическом синтезе и как растворители, и как реагенты. Хлоралканы и хлоралкены – летучие соединения, их водорастворимость и летучесть гораздо выше по сравнению с соответствующими углеводородами.

В почве трихлорэтилен остается неизменным в течение нескольких месяцев. Установлено, что тополь, осина, ива, клевер, люцерна, рожь, сорго и некоторые другие растения активно поглощают трихлорэтилен и другие хлорированные алифатические углеводороды, в результате чего определенная часть токсиканта претерпевает минерализацию [53].

Трихлорэтилен по токсичному воздействию на организм подобен тетрахлорметану. В результате преобразований образованный трихлорацетальдегид характеризуется мутагенными свойствами. Это соединение вызывает неестественные структурные изменения в молекулах ДНК.

Установлены канцерогенные свойства мономера поливинилхлорида – винилхлорида [53]. Этот полимер особенно широко используется в промышленности. Из него производятся линолеум, моющиеся обои, искусственная кожа, пластиковые бутылки и многие другие полимерные изделия.

подавляющее большинство токсических соединений антропогенного спектра характеризуются способностью активной миграции во всех природных экосистемах.

## 2.6 Миграция токсикантов

Попав в биосферу, токсичные соединения мигрируют в окружающей среде. Это результат характерной тенденции веществ к распространению в экосистемах, обусловленный физическими, химическими и биологическими факторами, в частности:

- физико-химическими свойствами токсикантов – молекулярной массой, растворимостью в воде, гидрофобностью (коэффициент распределения вещества между неполярным и полярным растворителями –  $n$ -октанолом и водой, обозначаемый  $K_{OW}$ ); давлением пара, определяющим летучесть веществ, наличием химически активных функциональных групп и т.д.;
- физическими процессами массопереноса и эмиссии веществ, какими являются адсорбция, десорбция, диффузия, конвекция, дисперсия, сухое и влажное осаждение и т.д.;
- химическими процессами, в частности окислением, гидролизом, синтезом, фотолизом, конъюгацией токсикантов или их производных с природными материалами и т.д.;
- географическими процессами циркуляции веществ, например, атмосферным переносом (осадки, ветры, ураганы, наводнения), океаническими циркуляциями, переносом реками и т.д.;
- биологическими процессами, участвующими в глобальных процессах круговорота веществ в природе. К ним относятся биоконцентрирование, биоумножение, биоаккумуляция, биотрансформация, биодеградация, биотический перенос веществ и т.д.

Первой стадией распространения токсичных соединений является выход из ареала их конкретного применения. Скорость этого процесса, в первую очередь, зависит от конкретного способа/технологии их использования или нахождения токсиканта (например, в случае использования пестицида большое значение имеет, как происходило его распыление – с земли или с самолета). Важными являются географические факторы, определяющие тенденцию токсиканта к распространению, а также фугитивность, т.е. стремление вещества выйти за пределы фазы, в которой оно находится.

За стадией выхода токсичных веществ из области их использования следует дальнейшее неоднородное распределение в прилегающих экосистемах. Важнейшим этапом распределения токсикантов является абиотический и биотический перенос веществ между природными средами – почвой, водой и воздухом, также определяемый рядом географических, физических, химических и биологических факторов. Среди большого разнообразия локально действующих экологических технологий, призванных устранять действие токсикантов, не допуская их распространения за пределами экосистемы их нахождения, особенно важен деградиционный метаболический потенциал, в первую очередь характерный для микроорганизмов и растений. Характерной особенностью этих организмов является их генетически детерминированная способность использовать в конструктивном синтезе обычных внутриклеточных метаболитов образовавшиеся в результате деградации атомы углерода, то есть утилизировать токсиканты по принципу малоотходной технологии.

Соединения токсичной природы характеризуются разной спецификой миграции в отдельных экологических нишах.

В процессе загрязнения почв токсичными соединениями и возможным продолжительным характером их действия большую роль играют процессы адсорбции. Из-за разной адсорбционной способности составных компонентов попавшие в почву токсиканты распределяются неравномерно. В основном, они сорбируются на липофильном органическом материале почвы, поглощаются минеральным (глинистым) слоем, а также ковалентно связываются с гуминовыми компонентами. В процессе десорбции солевые растворы не полностью извлекают из почвы продукты реакции токсикантов с гуминовой фракцией, а также молекулы токсикантов, встроенных в слоистую структуру глинистых минералов или находящихся в пространстве гуминовых макромолекул. Адсорбция значительно замедляет массоперенос растворенных химических веществ, который является основной движущей силой миграции токсикантов в почве. Высокая пористость почвы, большие размеры молекул, низкая сила концентрационного градиента и т.д. являются факторами, замедляющими диффузию. Локальные загрязнения почв сохраняются долгое время. Причинами этого являются, как высокая адсорбционная способность почв, так и физико-химические свойства самих токсикантов, в ряде случаев крайне высокая устойчивость в природной среде.

Важен вопрос миграции токсичных соединений из почвы в воду, от чего в значительной мере зависит степень чистоты подземных вод, часто используемых для питья. В почве токсиканты в большинстве случаев подвержены частичной или полной трансформации почвенной микрофлорой, ферментами экссудатов корневой системы растений, а также под влиянием солнечных лучей, кислорода воздуха и самой воды. В качестве катализаторов таких превращений часто служат минеральные вещества почвы (например, оксиды металлов – железа, алюминия и др.).

Связывание с гумусом происходит в основном за счет полярных функциональных групп токсикантов (гидроксильных, аминных, карбонильных, карбоксильных и т.д.). Эти группы, с одной стороны, повышают полярность молекул токсикантов и этим способствуют образованию водородных связей и Ван-дер-ваальсовых сил притяжения между токсикантом и органическим материалом почвы, а с другой стороны – способствуют ковалентному связыванию токсикантов с компонентами гумуса, как, например, с гуминовыми и фульвокислотами.

Еще одна причина длительного загрязнения почв обусловлена химической стабильностью самих токсикантов. Устойчивость токсикантов во многом определяется их химической структурой. Установлены причины устойчивости алифатических углеводородов в почве: более устойчивыми к превращениям являются ароматические углеводороды, причем с увеличением числа замещенных групп в ароматическом ядре стабильность соединений возрастает; наиболее высокой стабильностью отличаются галогензамещенные ароматические углеводороды, особенно в тех случаях, когда заместителями являются атомы хлора или фтора.

Полное удаление токсичных соединений из окружающей среды происходит только при их минерализации, т.е., когда органические вещества разлагаются с образованием  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$  и других неорганических веществ. Такая деградация токсикантов в почве может осуществляться, как абиотическим, так и биотическим путем. Абиотические превращения объединяют самопротекающие фотохимические и химические окислительно-восстановительные реакции, а также гидролитические расщепления токсикантов. В них участвуют органические вещества почвы, оксиды металлов и минералы. Основным путем полного разложения токсичных органических соединений является их биологическая минерализация, осуществляемая почвенной микрофлорой и растениями.

Стабильность, то есть персистентность токсичных соединений, оценивается периодом времени, в течение которого происходит превращение 95% токсиканта.

Средним показателем для диоксинов период их 95%-го распада составляет 14-15 лет, для полихлорированных бифенилов (ПХБ) – 10-12 лет, для ДДТ – 4 года, гептахлора – 3,5 года, линдана – 3 года и т.д. Широко распространенные сим-триазиновые пестициды (симазин, триазин, прометрин) сохраняются в почве около двух лет, карбаматы – от нескольких месяцев до 1 года, а фосфорорганические инсектициды (хлорофос, метафос и др.) и производные феноксиуксусной кислоты – 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота (2,4,5-Т) и др. подлежат деградации в течение нескольких месяцев.

Из минералов сильными адсорбентами являются глины, у которых способность адсорбции токсикантов возрастает в следующем порядке: каолин < бентониты < ильиты. В гумусе, кроме адсорбции, часто происходит и связывание токсикантов водородными и ковалентными связями, поэтому попавшие в почву токсичные вещества более активно задерживаются органическим материалом. Например, показано, что 29% внесенного в почву пестицида амибена (2,5-дихлор-3-аминобензойная кислота) связывается с гумусом, а 9% – поглощается глинами [41].

Скорость микробиологического разложения токсикантов зависит от ряда внешних факторов, таких, как: концентрация кислорода в почве, температура, рН почвы, наличие неорганических и органических питательных веществ, соответствующей микрофлоры и др. Весьма значительным из всех этих факторов является содержание кислорода, который лимитирует интенсивность размножения как аэробных, так и анаэробных микроорганизмов.

В водной среде диффузия загрязнителей осуществляется довольно быстро. Локальным загрязнениям подвергаются не только отдельные водоемы или участки реки, в которые попадают сточные воды, но, в конечном счете, моря и океаны. Наиболее ощутимый ущерб морским экосистемам наносит загрязнение нефтяными углеводородами. В моря и океаны попадает в среднем около 1,3 миллиона тонн нефти и нефтепродуктов [59]. Нефть в разные экологические ниши проникает следующими путями:

- естественное просачивание из подводных шлейфов составляет почти половину всего загрязнения нефтью;
- за счет обычных танкерных операций, таких, как загрузка и разгрузка нефти;
- очистка танкеров, цистерн и отстойников от нефти и нефтепродуктов;
- аварии танкеров;



- течь в нефтепроводах. При просачивании в почву нефть, несмотря на большую вязкость, проникает вглубь почвы, достигая грунтовых вод, и распространяется на большие расстояния. Очень часто по этой причине нефть попадает в прибрежные болота и моря;
- выбросы нефти при бурении скважин, расположенных в открытом море;
- реки, загрязненные нефтью или нефтепродуктами из сточных вод;
- отходы от переработки сырой нефти.

Для любых живых организмов пагубными последствиями чреват не только непосредственный контакт с нефтепродуктами. Особую опасность вызывает взаимодействие с растворенными в воде углеводородами, в частности, ароматическими и полициклическими, которые довольно легко проникают в организмы обитателей вод. Следует отметить, что эти токсиканты даже при очень низких концентрациях ( $10^{-7}\%$ ) могут вызвать нежелательные изменения физиологии, и в целом жизнеспособности морских организмов. При концентрациях порядка  $10^{-6}$ - $10^{-5}\%$  наблюдается серьезное нарушение физиологической активности, диапазон  $10^{-4}$ - $10^{-2}\%$  является летальной дозой для личинок, морских беспозвоночных, ракообразных, устриц, улиток, креветок и рыб. Только морские растения могут выдерживать концентрации до  $10^{-2}$ - $10^{-1}\%$ .

## 2.7 Поверхностно-активные вещества

Проблему, связанную с загрязнением вод, в значительной степени создают поверхностно-активные вещества (ПАВ) или детергенты (тензиды). Они используются как моющие средства, понижающие поверхностное натяжение воды, их применение сопровождается пенообразованием [35].

Возросшая потребность в ПАВ на промышленных предприятиях, а также их интенсивное использование в быту, прежде всего в процессе стирки, привели к большим скоплениям пены в руслах рек и водоемах. Пена препятствует судоходству, а высокая токсичность ПАВ приводит к массовой гибели рыб. Отрицательный опыт применения ПАВ в 1950-х годах заставил прибегнуть к созданию таких ПАВ, которые разрушаются под действием биологических факторов. К относительно легко разрушающимся относятся тензиды с неразветвленной цепью, как, например, детергенты неионного характера и алкилбензолсульфонаты, которые, кроме того, характеризуются малой токсичностью для людей и рыб [60].

## 2.8 Взрывчатые вещества

В качестве взрывчатых веществ часто используются органические соединения, содержащие нитрогруппы. Среди них самые распространенные: 2,4,6-тринитротолуол (ТНТ), нитроглицерин, гексагидро-1,3,5-тринитро-1,3,5-триазин (известен также как циклонит, гексоген, или по Британскому кодовому названию – RDX), октагидро-1,3,5,7-тетрантро-1,3,5,7-тетразоцин (НМХ) и др. По причине наличия нитрогрупп эти соединения являются высокотоксичными загрязнителями почв и грунтовых вод (места военных действий, полигоны, военные заводы и склады, и т.д.), и поэтому загрязненные места обязательно требуют ремедиации.

### 2.8.1 Тринитротолуол

Весьма токсичный загрязнитель окружающей среды. ТНТ используется как взрывчатое вещество и является промежуточным продуктом в производстве красителей и фотографических материалов. Производство и использование ТНТ в военных целях приводит к его распространению в окружающей среде. Это одно из самых токсичных взрывчатых веществ в арсенале военных. Массовое использование ТНТ оставило после себя тысячи гектаров химически зараженной земли. Подвижность токсиканта в почве ограничена его активной адсорбцией частицами почвы.

В организм человека ТНТ проникает через пищеварительный тракт, кожу, легкие и распределяется прежде всего в печени, почках, легких и жировой ткани, стимулируя хронические болезни [61]. ТНТ классифицируется как канцерогенное вещество, относящееся к группе С.

В микроорганизмах деградация ТНТ осуществляется следующими двумя путями:

- удалением азота в виде нитрита и дальнейшим восстановлением нитрита нитритредуктазой в аммоний в аэробных условиях;
- восстановлением нитрогрупп бактериальной нитроредуктазой в анаэробных условиях и последующей аэробной деградацией аминопроизводных.

Отдельные штаммы *Pseudomonas* и некоторые представители мицелиальных грибов могут использовать ТНТ как источник азота. Так, например, штамм *Pseudomonas* sp. JLR11 ассимилирует почти 85% азота ТНТ, включая азот этого соединения в состав других клеточных метаболитов [62]. Это может служить классическим примером того, как атом, являющийся токсичным фактором ксено-

биотика, в процессе метаболизма, характерного для микроорганизмов, в результате частичной деградации токсиканта используется как строительный материал для синтеза внутриклеточных метаболитов.

Согласно достоверным данным, ТНТ может служить терминальным электронным акцептором в дыхательной цепи и его восстановление сопряжено с синтезом АТФ [62].

*Phanerochaete chrysosporium* и некоторые другие базидиальные грибы полностью минерализуют ТНТ. Восстановленные метаболиты ТНТ особенно эффективно деградируются лигнинолитическими ферментами базидиальных грибов, состоящих из пероксидазы, лакказы и других оксидаз.

Способность поглощать и преобразовывать ТНТ характерна также для некоторых растений. Водное растение овсяница (*Myriophyllum aquaticum*) и морская водоросль хара (*Nitella* sp.) используются для фиторемедиации почв и вод, загрязненных ТНТ. Фермент нитроредуктазы, непосредственно участвующий в восстановлении нитрогрупп ТНТ, выявлен и в других морских водорослях, папоротниках, однодольных и двудольных растениях, многолетних деревьях (тополь) [63].

Трансгенный табак (*Nicotiana tabacum*), в котором экспрессирован ген бактериальной нитроредуктазы, приобрел способность деградации ТНТ в количествах, требуемых для обезвреживания сильно зараженных военных полигонов [64].

Многообразие химических структур, с которыми приходится сталкиваться при ремедиации почв, требует использования качественно разных фиторемедиационных технологий. Наличие почв разного типа, требующих для очистки от токсичных соединений специальные технологические приемы, в свою очередь создает дополнительные трудности. Несомненно, что целенаправленная селекция растений и микроорганизмов, активно усваивающих и ассимилирующих токсичные соединения антропогенного происхождения, является основным критерием успеха при ремедиации и мониторинге почв, загрязненных антропогенными токсикантами.

## 2.9 Загрязнители атмосферного воздуха

В воздух токсичные соединения могут попасть, как непосредственно из источников эмиссии, так и из загрязненной почвы и воды. Перенос токсикантов на разделе фаз вода-воздух является динамическим процессом и осуществляется в

обоих направлениях. Процесс переноса химических соединений из водного раствора в атмосферу (улетучивание), так и в обратном направлении (сухое осаждение из воздуха в воду) происходит в результате диффузии согласно общим закономерностям.

Скорость перехода химического соединения через фазу раздела вода-воздух прямо пропорциональна разности его концентрации в разных фазах. Поток веществ направлен в сторону уменьшения концентрации. В случае химического загрязнения вод концентрация токсиканта в водном растворе экспоненциально уменьшается во времени. Объясняется это тем, что воздух является более открытой системой, чем вода, и в естественных условиях концентрация химических соединений в газовой фазе значительно ниже, чем в водной.

В системе вода-воздух фугитивность токсикантов почти полностью зависит от их летучести, которая определяется скоростью переноса в жидкой и газовой фазах, температурой и константой Генри (ее значением для каждого вещества); этот последний параметр показывает соотношение концентрации вещества в газовой и водной фазах.

Наряду с процессами улетучивания веществ из воды и осаждения в нерастворенном виде из атмосферы в воду существуют еще и другие пути обмена веществами между этими системами. Такими являются: разбрызгивание ветром морской воды, удаление токсикантов из атмосферы осадками (влажное осаждение). Доля осуществляемого таким путем переноса в обмене химическими веществами между водными бассейнами и атмосферой во многом зависит от географического положения и климатических условий.

Процессы переноса между почвой и воздухом являются наиболее объемными по количеству переносимой массы и сложными, так как здесь большое значение имеют факторы, обуславливающие обмен между всеми тремя фазами: жидкость – твердая фаза, жидкость – газ и твердая фаза – газ.

Как и в случае переноса массы в системе вода-воздух, процессы перехода веществ из почвы в атмосферу и в обратном направлении осуществляются путем диффузии. Скорость улетучивания зависит от молекулярной массы, температуры, давления насыщенного пара адсорбированного вещества и скорости его переноса в газовой фазе. В случае перехода веществ между разделом фазы вода-воздух доля каждого направления переноса зависит от физико-химических свойств вещества, типа почвы и климатических условий.

Летучесть с влажной поверхности почвы существенно выше, чем с сухой. Это явление нельзя свести к соиспарению веществ с водой, так как, во-первых, соиспарение происходит при более высоких температурах и концентрациях токсиканта, чем это бывает в природных условиях; во-вторых, причиной соиспарения является взаимодействие воды и испаряющегося вещества (образование водородных связей, гидратация и др.), что не характерно для большинства токсикантов; а в третьих, в условиях, когда поверхность почвы остается влажной, скорость улетучивания многих токсикантов не изменяется, в то время как пары воды быстро насыщают атмосферу и испарение быстро подавляется. Поэтому испарение воды и улетучивание химических соединений из почвы происходят независимо друг от друга. Увеличение летучести из влажной почвы, по сравнению с сухой, в большей степени объясняется частичной десорбцией химических соединений, что достигается их элюцией (вытеснением) водой [65]. Несомненно, что летучесть химических соединений с влажной поверхности почвы происходит преимущественно из жидкой фазы.

Попавшие в глубь почвы токсичные соединения диффундируют в направлении поверхности разными движущими силами. Токсиканты, имеющие высокую константу Генри (например, инсектициды линдан, ддт, хлорорганические растворители), перемещаются из нижних слоев в верхние и их улетучивание происходит так же, как и в случае с водой. Для веществ с малой константой Генри (например, триазиновый гербицид прометон) перенос вверх происходит за счет конвекции и капиллярных сил. Этот эффект называют «фитильным» [66].

Улетучивание химических веществ из почвы в атмосферу зависит и от других условий окружающей среды, например, от типа почвы, температуры и скорости ветра. Еще одним путем эмиссии веществ из почвы в атмосферу является перенос с пылью (ветровая эрозия).

Многие газообразные вещества, содержащиеся в атмосферном воздухе, в повышенных концентрациях выступают в роли опасных токсикантов и наносят серьезный ущерб окружающей среде. Это: оксиды углерода, азота, серы, сероводород, метан, фторхлоруглероды и др.

### 2.9.1 Оксиды углерода

#### Монооксид углерода (СО)

Особо опасную роль в загрязнении воздуха играет монооксид углерода, который всегда образуется при неполном сгорании углеродсодержащих веществ. В

незагрязненной атмосфере содержится около 60 млн тонн монооксида углерода, что составляет меньше одной тысячной доли содержания  $\text{CO}_2$ .

Максимальное количество монооксида углерода в естественных условиях образуется в результате вулканической деятельности и фотохимического окисления метана в атмосфере. Другим важным источником образования СО являются антропогенные выбросы. У двигателей внутреннего сгорания оптимальные условия окисления топлива создаются только при выходе на определенный рабочий режим. Как правило, это эквивалентно 75% мощности двигателя, но в других режимах, особенно на холостом ходу и при запуске двигателя, содержание СО в выхлопных газах значительно повышается. С целью очистки выхлопных газов от СО автомобильные компании применяют специальные катализаторы, способствующие полному окислению топлива до  $\text{CO}_2$ . В глобальном масштабе СО, выделяемый двигателями внутреннего сгорания автотранспорта, составляет небольшую часть от его общего содержания, но в больших городах, при наличии большого количества автомобилей, в области повышенного давления и температурной инверсии содержание СО может достигать опасных концентраций.

Монооксид углерода представляет опасность для человека прежде всего потому, что он может связываться с гемоглобином крови. Кроме того, СО может образовывать высокотоксичные соединения – карбонилы. При взаимодействии с гемоглобином крови монооксид углерода, как и кислород, занимает определенное координационное положение в геме. Сродство гемоглобина к СО в 200-300 раз выше, чем к  $\text{O}_2$ . Установлено, что концентрация СО в атмосфере, равная 0,006% (по объему), достаточна для связывания половины всего гемоглобина в крови [35].

### **Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ )**

В отличие от СО, диоксид углерода образуется при полном окислении углеродсодержащего топлива. Атмосферный  $\text{CO}_2$  находится в состоянии постоянного обмена с почвой, водой и живыми организмами, особенно с растениями (фотосинтез), в результате чего создается постоянный круговорот  $\text{CO}_2$  в природе. Естественными источниками образования  $\text{CO}_2$  служат: вулканические извержения, выветривание углеродсодержащих горных пород, гниение органических соединений (микробиологический процесс – биологическое окисление), процесс дыхания, лесные пожары и сжигание топлива. Несомненно, что все это привело бы к катастрофическому накоплению  $\text{CO}_2$ , если бы не процессы его фиксации из

атмосферы: фотосинтез, растворение в морской воде, накопление богатых углеродом соединений, отложение углеродных залежей горючих ископаемых и т.д.

Между процессами выделения диоксида углерода и его связывания в природе установилось известное равновесное состояние, что характерно, как для материков, так и океанов. В такой обменный механизм включена только часть общего углерода. Непрогнозируемое увеличение количества сжигаемого топлива привело к заметному повышению содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Среди других причин следует отметить количественное уменьшение почв, фиксирующих  $\text{CO}_2$  (результат урбанизации), вырубку лесов, особенно ликвидация тропической растительности. Все это, интенсивно осуществляемое *Homo consúmens*, в значительной мере способствует нарушению равновесия между связыванием (в основном биологической фиксацией) и выбросом углерода.

### 2.9.2 Диоксид серы ( $\text{SO}_2$ )

Диоксид серы оказывает прямое токсичное действие на все организмы. Кроме того, реакционная способность  $\text{SO}_2$  значительно выше, чем у  $\text{CO}_2$ . К природным источникам  $\text{SO}_2$ , в первую очередь относятся: вулканы, лесные пожары, морская пена и микробиологические превращения серосодержащих соединений. Выделяющийся в атмосферу диоксид серы может связываться с известью, в результате чего в воздухе поддерживается его постоянная концентрация.

Диоксид серы антропогенного происхождения образуется при сгорании угля и нефти, в металлургических процессах, при переработке серосодержащих руд. Большая часть антропогенных выбросов  $\text{SO}_2$  (около 87%) связана с энергетикой и промышленностью. Общее количество  $\text{SO}_2$  антропогенного происхождения составляет более 90% от всего количества диоксида серы в природе.

Время пребывания  $\text{SO}_2$  в атмосфере в среднем исчисляется двумя неделями. Этот промежуток времени слишком мал, чтобы газ мог распространиться в глобальном масштабе. Поэтому в соседних географических районах, где осуществляются в одном случае большие, а в другом – умеренные выбросы диоксида серы, в атмосфере могут наблюдаться большие различия в содержании  $\text{SO}_2$ . Таким образом, проблема  $\text{SO}_2$  возникает в первую очередь в промышленно развитых странах, а также у ближайших соседей.

В атмосфере диоксид серы вместе с оксидами азота ( $\text{NO}_x$ ) претерпевают ряд химических превращений, важнейшие из них – окисление и образование кисло-

ты, что приводит к образованию так называемых «кислотных дождей». Эти реакции протекают с участием УФ-лучей, кислорода воздуха или озона.

Вычислено, что 60-70% кислотных дождей вызвано диоксидом серы.  $\text{SO}_2$  и кислотные осадки вызывают коррозию металлических изделий и органических материалов – кожи, бумаги, ткани, резины и красок. Они наносят значительный ущерб всем, и в особенности фотосинтезирующим организмам. Для растений особенно токсичны гидросульфит-ионы ( $\text{HSO}_3^-$ ), которые, реагируя с перекисями ненасыщенных жирных кислот фосфолипидов, образуют радикалы и разрушают биомембраны [35].

Активно действующие радикалы  $\text{HSO}_3 \cdot$  и  $\text{RCO}$  после поражения мембран хлоропластов окисляют и обесцвечивают хлорофилл. Кроме того, продукты превращения  $\text{SO}_2$  способствуют сдвигу pH цитоплазмы в кислую сторону, что вызывает удаление ионов магния из порфиринового кольца хлорофилла. Под влиянием  $\text{SO}_2$  листья желтеют и теряют способность к фотосинтезу. Диоксид серы приводит к уменьшению интенсивности транспорта веществ между клеточными мембранами, в результате чего наблюдается некроз листьев.

### 2.9.3 Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ )

Образование оксидов азота в природе связано с электрическими разрядами, при которых образуется  $\text{NO}$ , а затем –  $\text{NO}_2$ . В небольших количествах  $\text{NO}_2$  может выделяться в процессе ферментации силоса.

Оксиды азота антропогенного происхождения в основном состоят из  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ , образующихся при сгорании топлива, особенно при температуре, превышающей  $1000^\circ\text{C}$ . Оксиды азота образуются в процессах нитрирования, при производстве суперфосфата, очистке металлов азотной кислотой, изготовлении взрывчатых веществ и плавке. Главным источником выбросов  $\text{NO}_x$  является автомобильный транспорт. Антропогенное загрязнение оксидами азота достигает критического уровня в густонаселенных больших городах.

Монооксид и диоксид азота участвуют в ряде фотохимических реакций, чем способствуют образованию озона и пероксиацетилнитрата  $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{NO}_2$  (ПАН), входящих в состав смога.

Монооксид азота не раздражает дыхательные пути, и поэтому человек может его не почувствовать. При вдыхании  $\text{NO}$  образует с гемоглобином нестойкое нитрозосоединение, которое быстро переходит в метгемоглобин. Ион  $\text{Fe}^{3+}$  метге-



моглобина не в состоянии обратимо связывать  $O_2$  и участвовать в процессе переноса кислорода. Концентрация метгемоглобина в крови равная 60-70% считается летальной, но такое предельное значение этого соединения может наблюдаться лишь в закрытых помещениях.

По мере удаления от источника выброса все большее количество  $NO$  переходит в  $NO_2$ . Этот последний, желто-коричневый газ особенно сильно раздражает слизистую оболочку. При контакте с влагой в организме образуются азотистая и азотная кислоты, разъедающие стенки альвеол легких, которые становятся настолько проницаемыми, что пропускают сыворотку крови в полость легких. При вдохе в этой жидкости растворяется воздух и образуется пена, препятствующая газообмену.

Действие озона на организм подобно действию  $NO_2$ . Озон также вызывает отек легких, нарушает нормальное движение мерцательных волосков в бронхах, которые должны выводить чужеродные вещества из бронхов. Все это приводит к увеличению опасности заболевания раком.

Действие оксидов азота на растения может осуществляться в виде кислотных осадков, прямым контактом с растениями и косвенно, путем фотохимического образования окислителей, таких как озон и пероксиацетилнитрат (ПАН). В форме кислотных осадков оксиды азота наносят серьезный ущерб растениям, повышая кислотность, как и в случае действия  $SO_2$ . Даже невысокие концентрации ПАН, активно действующего в обычных условиях, разрушают хлорофилл, нарушая функционирование фотосинтетического аппарата.

#### 2.9.4 Смог

Смог (от сочетания слов *smoke* + *fog*, т.е. дым + туман) – химическая смесь газов, которая образует коричневато-желтый или бурый туман в больших городах и промышленных центрах. Смог бывает двух типов [35]:

1. Смог лондонского типа представляет собой густой туман с примесью дыма или газовых отходов производства. Он образуется в осенние и зимние периоды в результате сильного загрязнения воздуха над городами средних и северных широт. Этот смог состоит из аэрозоля, в котором преобладают  $SO_2$ ,  $H_2SO_4$  и копоть.
2. Смог лос-анджелесского типа является пеленообразным аэрозолем с повышенной концентрацией едких газов (без тумана), возникающим под дей-

ствием ультрафиолетовой радиации солнца в результате фотохимических реакций, происходящих в газовых выбросах транспорта и промышленных предприятий. Этот тип смога называют также фотохимическим. Он характерен для южных городов, особенно в солнечные дни летних месяцев. В фотохимическом смоге присутствуют оксиды азота, озон, пероксиацетилнитрит и разные радикалы.

Образование смога происходит в областях, где антропогенное загрязнение воздуха усиливается географическими особенностями местности (горы, которые препятствуют воздушным потокам) и метеорологическими условиями (температурные инверсии в тропосфере, которые мешают распределению газов в вертикальном направлении), способствующими процессу образования смога эмиссии загрязнителей воздуха [67]. Смог наблюдается обычно при слабой турбулентности воздуха, при слабом ветре или штиле. Смог снижает видимость, усиливает коррозию металлов и сооружений, уничтожает растительный покров, раздражает дыхательные пути. Интенсивный и длительный смог может явиться причиной повышения заболеваемости с летальным исходом.

Фотохимический смог имеет сложный состав. Он представляет собой смесь около ста токсичных соединений и радикалов с очень высокой окислительной способностью. Источниками фотохимического смога, в основном, являются оксиды азота и летучие органические соединения (ЛОС), такие, как этан, пропан, бутан, этилен, пропен, ацетилен, метанол, формальдегид, ацетальдегид и др. Фотохимический смог содержит и другие вторичные загрязнители, сформированные из первичных оксидов азота, монооксида углерода, ЛОС и др.

### 2.9.5 Химические аварии

Промышленные аварии и катастрофы, в результате которых в окружающую среду попадает большое количество высокотоксичных веществ, стали настоящей бедой цивилизации *Homo consumens*. Насколько это серьезно и опасно для окружающей среды, можно легко увидеть только на примерах аварий с хлором, химическом оружии XX века. Наибольшую опасность хлор представляет в сжиженном состоянии. Газообразный хлор в 2,5 раза тяжелее воздуха. При выбросах жидкого хлора смертельно опасную зону составляет площадь в радиусе примерно 400 м от места выброса. Однако размеры этой зоны могут существенно меняться в зависимости от массы хлора, его энергетического состояния, характера аварийной ситуации, географических и климатических факторов [68].

Прогнозы на ближайшую перспективу показывают, что тенденция вероятности химических аварий в ближайшем будущем будет сохраняться. Для такого предположения есть целый ряд обоснованных предпосылок:

- непрогнозируемый рост сложных производств с применением новых технологий, которые требуют высокой концентрации энергии и участия в технологических процессах экологически опасных веществ;
- накопление в особо больших количествах отходов различных производств, представляющих опасность для окружающей среды;
- неизбежное увеличение объема химических производств и, соответственно, увеличение объема производства, перевозок и хранения особо опасных химических веществ;
- стремление к инвестициям для развертывания вредных производств на территории развивающихся, в техническом отношении слаборазвитых стран;
- другие причины.

Высокой степенью зараженности токсичными соединениями характеризуются арены военных действий, места дислокаций и тренировочные полигоны военных баз.

Особенно следует отметить и такой «мирный» источник эмиссии токсичных соединений, каким является автотранспорт, который без всяких аварий ежедневно выделяет не поддающееся измерению количество токсичных соединений, продуктов неполного сгорания топлива, добавок ко всему, характеризующихся канцерогенными свойствами.

В экологические катастрофы вносят вклад и токсичные газообразные выделения заводов различного профиля, работающих практически на любом виде топлива. Большую экологическую опасность, особенно в развивающихся странах, содержат ежегодно увеличивающиеся отходы производств, часто содержащие токсичные соединения.

Существующий экологический потенциал планеты (в основном, растения и микроорганизмы) не в состоянии обезвредить ежегодно непрогнозируемо повышающийся уровень экотоксикантов, которые с течением времени распространяются на всю планету. Постоянно повышающийся уровень токсичных соединений оказывает существенно отрицательное влияние на природу, крайне негативно воздействуя на такие жизненно важные биологические процессы, как: дыхание, фотосинтез, фиксация молекулярного азота, рост, раз-

множение и в целом на физиологию организмов и др. Характеризуясь довольно сильным мутагенным действием, повышенные концентрации токсичных соединений приводят к полному уничтожению некоторых видов организмов и появлению новых, не характерных для природы мутагенных, часто дегенеративных форм.

Подавляющее большинство экологических исследований, как на одну из наиболее вероятных причин изменения климата, в частности, глобального потепления, указывают на непосредственную связь этого явления с углеродным циклом. Учитывая тесную связь между воздухом и почвой, круговоротом углерода, обращает на себя внимание нарушение взаимосвязи «углеродный цикл – климат», а увеличивающийся в атмосфере избыток  $\text{CO}_2$ , не подлежащий фиксации, создает основу для смога и других нехарактерных газовых скоплений в воздухе.

**Повышение токсичности во всех экологических нишах, порой значительно превосходящее максимально допустимую концентрацию (ПДК), в значительной степени является результатом действия и образа жизни *Homo consúmens*. Это – результат всеобщей индустриализации, военных действий, экономического прогресса, промышленного маркетинга с целью повышения уровня благосостояния, получения сверхприбылей для мультинациональных компаний, глобализации рынков, товаров, услуг и т.д. К чему привело все это?**

Судя по историческим данным, человечество всегда страдало физическими недостатками, вызванными разными причинами. Это были единичные случаи, безусловно, требующие особого внимания. Но сегодняшнее состояние здоровья представителей *Homo consúmens* вызывает серьезную озабоченность, на что указывают следующие данные, приведенные в таблицах 7 и 8: 25,3% населения планеты (при общей численности – 8 млрд человек) или 2,001 млрд человек имеют официально подтвержденные психические расстройства, умственную отсталость, другие формы инвалидности. Это чрезвычайно высокий процент инвалидности, никак не сопоставимый даже с положением стран в послевоенные годы.

## Психические расстройства популяции *Homo sapiens* по данным начала XXI века

Таблица 7

Виды расстройств	Количество больных
Тревожное расстройство	301 000 000
Депрессия	280 000 000
Биполярное расстройство	40 000 000
Расстройства пищеварительного процесса	14 000 000
Расстройство поведения	40 000 000
Расстройство, связанное с употреблением психоактивных веществ (алкоголь и наркотики)	178 000 000
<b>Итого</b>	<b>853 000 000</b>

2 - <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders>

## Другие формы инвалидности *Homo sapiens*

Таблица 8

Умственная отсталость, виды инвалидности	Количество больных
Слепота и нарушения зрения	253 000 000
Глухота и потеря слуха	466 000 000
Умственная отсталость (IQ ниже 75) <sup>4</sup>	200 000 000
Нужда в инвалидной коляске	75 000 000
Шизофрения	24 000 000
Аутизм	75 000 000
Деменция	55 000 000
<b>Итого</b>	<b>1 148 000 000</b>

3 - <https://www.inclusivecitymaker.com/disabled-people-in-the-world-in-2021-facts-and-figures/>

4 - Формы умственной отсталости:

- 1) Генетические заболевания: синдром Дауна, синдром Клайнфельтера, синдром ломкой X-хромосомы, нейрофиброматоз, врожденный гипотиреоз, синдром Вильямса, фенилкетонурия (ФКУ) и синдром Прадера-Вилли. Другие генетические заболевания включают синдром Фелана-Макдермида, синдром Мовата-Вильсона, генетическую цилиопатию и X-сцепленная умственная отсталость по Сидерису.
- 2) Материнские инфекции во время беременности.
- 3) Злоупотребление алкоголем, в том числе, во время беременности.
- 4) Злоупотребление наркотиками, в том числе, во время беременности.
- 5) Воздействие на мать и плод токсичных химических веществ из окружающей среды.

По состоянию здоровья на 2000 год численность населения с психическими расстройствами, признаками умственной отсталости и другими видами инвалидности составляла 999 млн человек. Таким образом, чуть больше чем за 20 лет на планете число такого рода индивидов *Homo consúmens* увеличилось на 50%. При этом рост общей численности населения на планете составлял 29,5% (общее население 2000 г. – 6,114 млрд человек).

## ДИНАМИКА ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ПЕРЕСЧЕТЕ НА CO<sub>2</sub>, С УЧЕТОМ РОСТА ЧИСЛЕННОСТИ *Homo consúmens*

**1930 год:** Население: **2 085 610 000** чел.  
Содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере: **307,2 ppm**  
Выбросы CO<sub>2</sub>: **3,9 млрд тонн**

**1980 год:** Население: **4 434 000 000** чел.  
Содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере: **339 ppm**  
Выбросы CO<sub>2</sub>: **19,4 млрд тонн**

**2021 год:** Население: **7 920 000 000** чел.  
Содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере: **419,13 ppm**  
Выбросы CO<sub>2</sub>: **36,3 млрд тонн**

Исходные данные:

Содержание CO<sub>2</sub> - <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/atmospheric-concentration-of-carbon-dioxide>; <https://news.un.org/en/story/2021/06/1093592>

Выбросы CO<sub>2</sub> - <https://www.statista.com/statistics/264699/worldwide-co2-emissions/>

<https://www.iea.org/news/global-co2-emissions-rebounded-to-their-highest-level-in-history-in-2021>

Таким образом, менее чем за сто лет рост населения планеты составил около 280%, а количество выбросов парниковых газов в пересчете на CO<sub>2</sub> увеличилось более чем на 830%.

Влияние экономической деятельности *Homo consúmens* на экологию планеты отражено в таблице 9:

### Выбросы парниковых газов (в пересчете на CO<sub>2</sub>) по секторам промышленности

Таблица 9

Сектор промышленности	Доля выбросов каждого сектора экономики в общем объеме, %
<b>ЭНЕРГЕТИКА</b>	<b>73,2</b>
<b>Энергопотребление в промышленности</b>	<b>24,2</b>
Металлургия	7,2
Химическая и нефтехимическая промышленность	3,6
Пищевая промышленность	1

Цветные металлы	0,7
Производство бумаги и целлюлозы	0,6
Машиностроение	0,5
Текстильная промышленность	8,1
Прочие отрасли (горнодобывающая промышленность, строительная отрасль, деревообработка, производство автомобиля)	2,5
<b>Транспорт</b>	<b>16,2</b>
Автомобильный транспорт	11,9
Авиация	1,9
Судоходство	1,7
Железнодорожный транспорт	0,4
Трубопроводы	0,3
<b>Энергопотребление в зданиях</b>	<b>17,5</b>
Жилые здания	10,9
Коммерческие здания	6,6
<b>Неорганизованные выбросы от производства энергии</b>	<b>5,8</b>
Неорганизованные выбросы нефти и газа (случайная утечка метана в атмосферу во время добычи и транспортировки нефти и газа из поврежденных или плохо обслуживаемых труб)	3,9
Неорганизованные выбросы от угля	1,9
<b>Использование энергии в сельском хозяйстве и рыболовстве</b>	<b>1,7</b>
<b>Нераспределенное сжигание топлива</b> (Выбросы от производства энергии из других видов топлива, включая электричество и тепло из биомассы; локальные источники тепла; комбинированное производство тепла и электроэнергии (ТЭЦ); атомная промышленность; гидроаккумуляторы.)	<b>7,8</b>
<b>ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ</b>	<b>5,2</b>
Цемент	3
Химия и нефтехимия	2,2
<b>СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ</b>	<b>18,4</b>
Пастбища	0,1
Пахотные земли	1,4
Лесное хозяйство	2,2
Сжигание сельскохозяйственных культур	3,5
Выращивание риса	1,3
Сельскохозяйственные почвы (использование азотных удобрений)	4,1
Домашний скот и навоз	5,8
<b>УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ</b>	<b>3,2</b>
Сточные воды	1,3
Свалки	1,9

5- <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#citation>

По данным исследований, проведенных NOAA (Национальное управление океанических и атмосферных исследований, США), следует, что изменения температуры поверхности, количества осадков и уровня моря после полного прекращения выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>) необратимы в течение нескольких столетий.

При сохранении темпов роста предыдущего века конец XXI мы будем встречать с населением планеты не меньше чем 18-20 миллиардов человек и практически полностью отравленной атмосферой. Осознание опасных последствий развитой цивилизации, основанной на техногенной основе и максимальном удовлетворении своих потребностей, обсуждается давно. Еще в 1820 году Ж. Ламарк писал: «...можно сказать, что назначение человека заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав Земной шар непригодным для жизни...».

## 2.10 Потребительские результаты *Homo consúmens*

### Домашние животные

По данному вопросу можно было бы представить значительно больше данных, ставших характерными и касающихся порой удивительно близких отношений *Homo consúmens* с самыми разными животными. Не имея возможности представить даже небольшую часть этих взаимоотношений, предметом обсуждений в рамках данной монографии будут наиболее близкие одомашненные виды животных, количество которых непрогнозируемо увеличивается, и это превратилось в отдельную широко распространенную индустрию.

Очевидно, это один из самых сложных вопросов, стоящих перед *Ворлдбиомом*, речь идет о домашних животных. Несомненно, даже в каких-то небольших отклонениях от существующей действительности будут возмущенные противники, категорически возражающие против любых изменений. Откровенно говоря, и по мнению авторов, тут не видно единого конкретного решения, и причина заключается в том, что домашние животные, в особенности собаки и кошки, давно превратились в членов семьи, без которых жизнь этих людей (хозяев) почти немислима. И действительно, они очень многое дают владельцам, часто разделяя их одиночество, являются причинами веселья для взрослых и детей и характеризуются рядом других свойств (близость с природой), чем заслужили любовь и уважение хозяев. Собаки выполняют ряд важных поручений: сторожат



дома и другие объекты, находят наркотики, являются незаменимыми во время охоты на зверя и на птиц и, наконец, являются преданнейшими хозяевам животными. Ввиду этих и ряда других свойств и собаки, и кошки стали ближайшими созданиями для людей. Несмотря на все это, будет нелишне привести некоторые данные, связанные с расходами по содержанию домашних животных.

Лишь в XIX веке в США и Европе кошек только начинали рассматривать как домашних животных. Раньше их считали биологическими образцами для медицинских исследований и мышеловами. В 30-е годы XX века в мире насчитывалось около 70 миллионов собак и 62 миллиона кошек (точных данных официальная статистика не указывает). С ростом численности населения за прошедшие годы и десятилетия количество кошек и собак выросло в десятки раз! В наше время на уход и питание своих любимых питомцев люди тратят большие деньги.

Объем производства кормов для домашних животных в 2021 году составил 34,165 млн тонн. Исследуя влияние индустрии кормов для домашних животных на мировые запасы рыбы и морепродуктов, специалисты подсчитали: ежегодно 2,48 млн метрических тонн рыбы используется индустрией для производства кормов для кошек. Каждый год для производства сухих кормов для кошек и собак используется территория более 485 тыс. км<sup>2</sup>, что превышает суммарную площадь таких стран, как Германия, Швейцария, Нидерланды и Дания. Ежегодно эмиссия эквивалента углекислого газа от производства кормов для питания домашних животных составляет 106 млн тонн. Ежегодно домашние животные потребляют до 100 млн тонн свежего мяса и рыбы.

В среднем на гектар посевных площадей используется 3,7 кг пестицидов. Площадь земли, используемая для выращивания кормов для домашних животных, равна 49 млн гектаров. Для производства 29,33 млн тонн корма в 2020 году было использовано 181 300 тонн пестицидов.

**Сегодня общее количество домашних собак в мире составляет 471 миллион, домашних кошек – 373 миллиона, количество бездомных собак – 429 миллионов, бездомных кошек – 227 миллионов. Итого – 1,5 миллиарда животных.** Это количество приведено только по странам, которые регистрируют домашних животных, а их – меньше половины. Да, следует признать, что и собаки, и кошки, и другие домашние животные, несомненно, украшают нашу жизнь, и их количество во всем мире постоянно увеличивается, но есть и другая сторона этого вопроса: надвигающаяся на планету экологическая катастро-

фа заставляет тщательно исследовать все возможные расходы, связанные и с пищей, и с экологией. Свою задачу авторы видят в представлении обществу данной информации и в обсуждении возможности сокращения количества домашних животных. Данные о количестве собак и кошек в большинстве стран мира приводятся в таблице 10.

### Ориентировочная численность домашних и бездомных собак и кошек в разных странах

Таблица 10

Наименование страны	2022 год		Наименование страны	2022 год	
	Кошки, млн	Собаки, млн		Кошки, млн	Собаки, млн
США	103,3	82,2	Филиппины	0,5	23,3
Индия	14,8	79,1	Япония	7,3	12,0
Германия	17,8	10,7	Шри-Ланка	нет данных	3,0
Греция	3,9	1,6	Ирак	нет данных	1,5
Китай	140,6	117,2	Иран	нет данных	1,2
Мексика	10,3	28,6	Пакистан	нет данных	3,2
Великобритания	12,3	8,7	Израиль	2,0	0,5
ЮАР	4,6	10,3	Сингапур	0,09	0,09
Российская Федерация	44,1	23,4	Индонезия	30,0	0,5
Норвегия	0,8	0,5	Турция	4,1	1,22
Финляндия	0,9	0,8	Азербайджан	нет данных	1,0
Латвия	0,4	0,3	ОАЭ	0,14	0,08
Швеция	1,4	0,9	Эфиопия	0,25	5,0
Словения	0,5	0,3	Кения	нет данных	6,0
Румыния	4,3	4,2	Египет	5,0	15,0
Венгрия	2,3	2,9	Зимбабве	нет данных	0,7
Ирландия	0,4	0,5	Малави	нет данных	1,5
Эстония	0,3	0,3	Уганда	0,6	1,3
Литва	0,6	0,6	Танзания	нет данных	2,3
Словакия	0,6	0,9	Кот-д'Ивуар	нет данных	1,5
Австрия	2,0	0,8	Нигерия	нет данных	5,0
Португалия	1,5	2,1	Мадагаскар	4,0	
Швейцария	1,6	0,5	Марокко	36,0	3,0
Люксембург	0,1	0,1	Пр. страны Африки	нет данных	62,8
Нидерланды	3,1	1,9	Новая Зеландия	1,2	0,9
Украина	7,4	5,1	Австралия	3,8	5,3
Франция	15,1	7,6	Канада	8,1	7,7
Италия	7,9	8,3	Пуэрто-Рико	1,0	0,5
Болгария	0,8	0,8	Коста-Рика	0,37	2,3

Испания	3,8	6,7	Доминикана	нет данных	1,9
Польша	6,8	7,8	Гаити	нет данных	1,0
Бельгия	2,1	1,3	Гватемала	нет данных	5,0
Чешская Республика	1,1	3,2	Куба	нет данных	1,0
Дания	0,7	0,6	Уругвай	нет данных	1,7
Мальта	0,3	0,1	Чили	0,3	3,6
Кипр	2,0	0,3	Боливия	нет данных	1,9
прочие страны Европы	4,7	3,5	Перу	3,6	12,0
Бутан	нет данных	0,1	Колумбия	2,1	5,0
Камбоджа	нет данных	5,0	Венесуэла	нет данных	3,5
Мьянма	нет данных	4,0	Бразилия	22,0	55,0
Бруней	нет данных	0,4	Аргентина	3,0	9,6
Малайзия	0,8	0,4	Прочие страны мира	28,17	174,2
Вьетнам	3,8	5,4	<b>Итого мир</b>	<b>600,0</b>	<b>900,0</b>
Бангладеш	нет данных	1,6			
Непал	нет данных	0,1			
Таиланд	4,0	8,5			

### **Потребности жизнедеятельности *Homo sapiens***

По данным ООН, в мире 2,4 миллиарда людей не имеют регулярного доступа к основным санитарным услугам, включая туалеты или оборудованные выгребные ямы (<https://www.un.org/development/desa/en/news/sustainable/world-toilet-day-2019.html>). В ряде стран отсутствие централизованной канализации способствует распространению многих болезней, а отсутствие нормальных систем фильтрации воды вынуждает около 2 миллиардов людей ежедневно пить воду, не соответствующую элементарным требованиям.

Моча (урина) и фекалии некоторых животных и людей давно являются широко используемыми удобрениями с низким уровнем загрязнений тяжелыми металлами и пестицидами. Органические соединения, в основном целлюлоза (только жвачные животные усваивают целлюлозу), выделяемые вместе с фекалиями, деградируют в природной среде под воздействием почвенной микрофлоры на низкомолекулярные метаболически активные компоненты. Моча богата азотом, тогда как фекалии богаты фосфором, кальцием и органическим веществом. Жизненно важные для роста и развития растений элементы – нутриенты, количество которых зависит от состава и их количества в потребленной человеком пище. По мере того, как скелет и мускулы человека достигают зрелых размеров, нутриенты накапливаются в организме лишь в малых количествах.

Общие канализационные стоки, включая промышленные отходы, не позволяют человечеству пользоваться питательным средством, выделяемым *Ворлдбиомом*. Все это превращается в илистые осадки сточных вод. Нарушается цикл оборота углерода и других компонентов в природе, причем, эти компоненты берутся в одном месте (почве) и попадают в совершенно другое. Таким образом, утрачивается или существенно уменьшается возможность использования части биологических ресурсов.

Существующая мировая система водоснабжения не предусматривает разделение воды на питьевую (предназначенную для питья и приготовления пищи) и техническую (для нужд личной гигиены, стирки и т.д.). В результате *Homo sapiens* лишен общей экономии ресурсов чистой питьевой воды в размере 3449,38 км<sup>3</sup> в год или 3,449 квадриллиона литров в год.

### **Эмиссия метана в атмосферу от животноводства**

Одним из основных источников образования и распространения метана является животноводство. Не касаясь всех животных, безусловно имеющих вполне определенный вклад в экологию окружающей среды, приведем данные относительно крупного рогатого скота и свиней, как наиболее распространенных в мире животных. Общее поголовье крупного рогатого скота (КРС) в мире составляет 1,5 млрд голов. Учитывая, что одна корова производит в сутки приблизительно 400 л газообразного метана, общий годовой объем антропогенной эмиссии метана составляет 219 млрд м<sup>3</sup>. В глобальном масштабе свиньи производят 42 млрд м<sup>3</sup> метана в год. Всего в мире 677,6 млн свиней. Каждая свинья ежедневно выделяет около 170 л метана.

### **Отходы и выбросы птицеводства**

В отличие от травоядных млекопитающих, птицы в процессе пищеварения производят метан в незначительном объеме, а фекалии домашней птицы считаются некачественными, хотя находят использование в производстве газа в анаэробных технологиях.

В кадастрах парниковых газов доля выбросов в птицеводстве оценивается в 800 млн тонн CO<sub>2</sub> за счет производимого птицами навоза и затрачиваемой на их разведение и содержание энергии. 1 курица в среднем производит 45 кг навоза в год, 1 индейка – 54 кг. В мире 26 млрд кур и 462 млн индеек. Соответственно, куры производят 1,17 млрд тонн навоза в год, индейки – 24,9 млн тонн. Итого,

отходы птицеводства составляют 1,19 млрд тонн в год, количество, которое, безусловно, следует принимать во внимание.

### **Продукты для питания *Homo consúmens***

Общий мировой объем производства еды для потребления человеком и животным миром в 1975 году (данные ФАО) составил 1 752 060 000 тонн, в 2022 году – 8 685 520 000 тонн. Примерно за 50-летний период рост продуктов питания составил 396%.

Производство продуктов питания для прямого потребления человеком в 1975 году составляло 1 348 850 000 тонн, в 2022 году – **5 266 690 000 тонн. Рост – 290%. Все вышеприведенные данные однозначно указывают, что увеличение населения и, соответственно, продуктов питания носит координированный характер.** Пытаясь объяснить причины недостатка пищи для большей части популяции *Homo sapiens*, следует отметить, что:

1. Неравномерное распределение пищевых ресурсов планеты является одной из основных причин голода и бедности;
2. Массовые переселения и нескончаемые войны – привели к перемещению населения и заброшенным с/х землям;
3. Недостаточное или обилие осадков – одна из серьезных причин значительного понижения урожая.
4. Постоянно повышающееся содержание токсичных соединений отрицательно влияет и на качественные, и на количественные показатели урожая.

### **Болезни от употребления некачественной пищи *Homo consúmens***

По данным ВОЗ, 8,75% населения планеты, а это по состоянию на 2022 год 693 млн человек, страдают ожирением. В данном случае, при анализе этого важного фактора, характеризующего благосостояние общества, следует отметить, что не только количество, но и полноценность качества пищи и содержание нехарактерных, порой токсичных компонентов, являются важными факторами, определяющими процесс ожирения. 50 лет назад эта цифра составляла 2,58% населения или 105 млн человек. На сегодня количество лиц с избыточным весом увеличилось в 6,6 раза.

Ожирение, сахарный диабет, сердечно-сосудистые заболевания, гипертония, хроническая сердечная недостаточность, онкология, аллергия и прочие системные заболевания под общим названием «метаболический синдром» – являются основной «болезнью цивилизации» *Homo consúmens*, порожденной перепотреблением некачественной пищи. Все это приводит к оскудению ресурсов *Вор-*

*лдбиома*. Посредством чрезмерного потребления пищи среда обитания живой материи на планете Земля стремительно деградирует, и быстрее всех деградирует почва. Пустыня наступает по всему фронту «культурных» почв со средней скоростью 10 километров в год. Это уже серьезная угроза жизненному потенциалу человека.

Применяемая большинством стран система земледелия приведет к серьезным последствиям, как например, в Америке. Приемы почвозащитного земледелия были разработаны в США еще в 30-х годах XX века. По воспоминаниям американского ученого Хью Хэммонда Беннетта: «...12 мая 1934 года страна стала свидетельницей необычного, беспрецедентного в истории Америки явления природы. Облака пыли с сожженных солнцем полей Западного Канзаса, Техаса и Оклахомы и с прилегающих к ним Нью-Мексико и Колорадо были подняты в верхние слои воздушных течений и перенесены на восток через две трети континента. Впервые после появления белого человека в Америке почва с Великих равнин заслонила солнце над столицей, проникла сквозь преграду высоких зданий Нью-Йорка и пронеслась на сотни миль в Атлантический океан...». После такого «явления природы» эрозия почв была объявлена национальным бедствием, а Хью Беннетт назначен директором Департамента по охране почв США. Для того, чтобы создать новые орудия обработки почвы и повсеместно перейти на систему почвозащитного земледелия, Соединенным Штатам потребовалось всего два-три года.

Площадь с/х земель на планете оценивается в 47 954 190 км<sup>2</sup> или 36,90% от общей площади суши Земли. Оценки степени ущерба пахотным землям в мире различны, но Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием сообщает о том, что 52% земель или 25 млн км<sup>2</sup>, используемых для сельского хозяйства, серьезно деградированы. Эта цифра больше, чем вместе взятые территории России и остальной части Европы. Каждый год деградирует дополнительно 120 000 км<sup>2</sup> земли (<https://shorturl.at/dgyHP>).

Почва является невозобновляемым ресурсом, что означает, что она может быть полностью восстановлена не менее, чем в течение 20-25 лет. Весьма интересна структура земледелия:

- 80% всех с/х земель или 38 362 741 км<sup>2</sup> занято животноводством, из которых 33 786 813 км<sup>2</sup> – что составляет 26% свободных ото льда земель (129 949 283 км<sup>2</sup>) – отводится на выпас скота, 4 575 928 км<sup>2</sup> отводится на выращивание корма для животноводства.

## Динамика роста разных видов транспорта за период 2021-2030 гг.

Транспортные средства, будучи экологическим бичом современной цивилизации, выделяют высокотоксичные – монооксид углерода (СО), бенз[а]пирен, бензантрацен, диоксид углерода (СО<sub>2</sub>) – и другие не характерные для природы газы. Количество транспорта в масштабе всего мира непрогнозируемо быстро растет. В таблице 11 приведены данные, указывающие на существующее количество транспортных средств и прогноз на их увеличение к 2030 году. Несомненно, увеличение транспортных средств будет связано с ростом экологических проблем – эмиссией канцерогенных газовых выбросов в возросших количествах.

### Транспортные средства в масштабе всего мира

Таблица 11

Транспорт	Количество на 2021 год	Количество на 2030 год	Рост %
<b>Дорожный транспорт</b>			
Мотоциклы/мопеды/трициклы	200 000 000	351 200 000	175,6
Автомобили	1 042 274 000	1 229 883 000	118
Грузовые автомобили	389 174 000	652 106 000	167,6
Автобусы	3 000 000	3 607 500	120,6
Сельскохозяйственная техника	1 148 000	1 550 948	135,1
Самоходная строительная техника	503 125	693 300	137,8
<b>Железнодорожный транспорт</b>			
Локомотивы, моторные вагоны	558 270	658 755	118
Вагоны	3 536 105	5 000 054	141,4
Метро (состав)	110 383	140 191	127
<b>Воздушный транспорт</b>			
Самолеты	440 000	638 000	145
Вертолеты	56 200	84 490	150
<b>Водный транспорт</b>			
Грузовой	73 255	106 222	145
Пассажирский	7 567	10 969	145
Вспомогательный	39 177	56 808	145
<b>Военный транспорт</b>			
Авиация	53 418	83 703	156,7
Бронетанковая техника	384 963	603 231	156,7
Автомобильная техника	12 395 832	19 424 265	156,7
Флот	3 352	5 251	156,7
Итого:	<b>1 653 757 647</b>	<b>2 265 852 687</b>	<b>144</b>

## Текстильная промышленность

Текстильная промышленность потребляет огромное количество природных ресурсов и занимает второе место в мире по загрязнению источников воды. Используемые красители делают водные стоки высокотоксичными, в них содержатся: сера, нафтол, нитраты, уксусная кислота, соединения хрома, медь, мышьяк, свинец, кадмий, ртуть, никель, кобальт. Ниже в таблице 12 приводятся данные, касающиеся экологического вреда, наносимого текстильной промышленностью.

### Выбросы парниковых газов и расход воды в текстильной промышленности

Таблица 12

Этап производства текстильного изделия	Выбросы парниковых газов, млн тонн CO <sub>2</sub> -эквивалента	Расход воды, млрд м <sup>3</sup>
Производство волокна	510	54,64
Подготовка ткани	931	39,71
Изготовление ткани	395	18,64
Окраска и отделка ткани	1178	47,15
Изготовление одежды	224	13,08
Распространение	41	0,2
Утилизация	11	0,12
<b>ИТОГО</b>	<b>3290</b>	<b>173,59</b>

Таким образом, вклад в глобальное потепление текстильной промышленности составляет 3290 млн тонн парниковых газов в пересчете на CO<sub>2</sub>.

Манипулирование массовым сознанием у *Homo consúmens* цивилизации потребления происходит через телевидение и другие СМИ. Рынок товаров, услуг, рынок брендов, телевидение – стремятся приковать граждан к каналам, рекламирующим все это. Реклама на телевидении создает виртуальный мир потребительских ценностей. При этом люди понимают, что живут среди вымышленных образов, но определенная часть подчиняется агитации. К 2010 году телевизор был у каждого пятого человека на планете, таким образом, существовало более чем 1,4 млрд телевизоров.

С 2018 по 2021 год мировое производство телевизоров составляло ежегодно более 200 млн единиц в год. Таким образом, можно предположить, что на планете сейчас около 3 млрд телевизоров различных поколений.

Учитывая скорость морального и физического износа телевизоров, модели, выпущенные до 80-90 годов XX века, можно найти в музеях или у единичных любителей старины. Соответственно, 3 млрд телевизоров – это модели, выпу-



щенные в конце 80-х – начале 90-х годов. Более старые модели (до плазменных телевизоров) составляют не более 10% от общего количества. Современные LED и OLED в нынешнем мире имеет около 55-60%. А их предшественники – плазменные телевизоры – около 35-40%.

**Общее мировое энергопотребление телевизорами разных моделей, по подсчетам экспертов, составляет 290,7 млрд кВт или 290 722,5 гигаваатт-часов в год.**

Такого количества электроэнергии (290 млрд кВт) хватит для энергоснабжения в течение трех лет городов с населением 15 млн человек, таких, как Стамбул (Турция), Буэнос-Айрес (Аргентина), Калькутта (Индия), Рио-де-Жанейро (Бразилия). Для сравнения: одна атомная станция вырабатывает в среднем 40 млрд кВт в год, а мегаполис в год потребляет около 140 млрд кВт.

Если к прямому потреблению электроэнергии телевизорами добавить косвенное (для производства комплектующих, затраты на добычу металлов, которые используются при производстве телевизоров, затраты электроэнергии самого завода-производителя), то эта цифра увеличится минимум на 10%.

Продукты киноиндустрии – основные категории: фильмы, музыкальные клипы, спорт и телепрограммы, снимаемые в студиях, также связаны с серьезными энергозатратами. Несомненно, все расходы, связанные с рекламой самой разной продукции, должны регулироваться, а в случае необходимости значительно сокращаться.

Производство одного фильма обходится человечеству выбросами парниковых газов в пересчете на CO<sub>2</sub> от 391 до 3370 тонн, что в переводе на потребление электроэнергии в среднем составляет около 10 000 кВт.

### III. СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Понятие «технология» охватывает чрезвычайно широкий спектр деятельности. Любая последовательность действий, приводящая к достижению конкретной цели (получению продукта, решению задачи, установлению механизма действия, созданию алгоритма, разработке методики обучения и т.д.), может служить классическим примером отраслевой технологии. Перечень и колоссальный набор технологий самого разного профиля настолько велик, что их невозможно перечислить даже в масштабе крупной монографии. Каждая технология посвящена конкретной задаче, приведшей к ее созданию. В числе многообразных технологий, имеющих солидную историю, измеряемую столетиями, появились сравнительно новые, инновационные экологические технологии, суть которых сводится к активной защите окружающей среды, хотя для популяции *Homo sapiens* эффект улучшения экологического дисбаланса не достигнут.

Как показала практика, многообразные экологические технологии обеспечивают защиту основных компонентов окружающей среды – атмосферы, водных объектов и почвы от негативного воздействия на них загрязняющих веществ (твердых пылевых частиц, жидкостных аэрозолей, газообразных веществ, чаще антропогенного происхождения, обладающих токсичными и канцерогенными свойствами), физических полей (шума, вибрации, электромагнитного, ионизирующего и теплового излучения), биологических загрязнений (патогенными формами бактерий, мицелиальных грибов, вирусов).

Начиная со второй половины XX века, разработка технологических процессов по всем направлениям развивалась невиданными темпами. Этот революционный технологический скачок базировался на уже достигнутом к тому времени высоком уровне научных знаний как в области естественных, так и инженерных и гуманитарных наук. Одним из значительных достижений прошлого века в области научно-технического прогресса следует считать создание фундаментальной научно-практической базы для разработки и производственной оценки самых разнообразных технологических процессов.

В числе важнейших экологических проблем современности возникли новые проблемы, продиктованные временем: борьба против повышения концентрации  $\text{CO}_2$  и метана в атмосфере, как основных причин глобального потепления. Изменение углеродного цикла существенным образом связано с повышенным образованием антропогенного углекислого газа до критического уровня, превышающего фотосинтетический потенциал планеты. Повышенное образование метана, являясь результатом увеличения масштабов промышленности, бесконечных войн и сельского хозяйства, в значительной мере способствует глобальному потеплению, причем выясняется, что вклад метана в потепление на планете оказался на 25% выше предполагаемого. Важно отметить, что парниковые газы – метан и угарный газ – в атмосфере могут существовать без изменений до десяти лет, тогда как «время жизни» двуокиси азота ( $\text{NO}_2$ ) исчисляется десятилетиями.

В XXI веке активной сферой деятельности ученых и специалистов разного профиля – политиков, социологов, инженеров, физиков, химиков, аграриев и других – стала разработка и оценка эффективности инновационных экологических технологий, приобретших жизненно важный характер. При сопоставлении экологических данных, касающихся основных компонентов природы, становится совершенно ясно, что атмосферный воздух, почва и вода – это теснейшим образом взаимосвязанные экологические ниши, определяющие и степень чистоты каждой из них.

Биологическое самоочищение почвы происходит постепенным удалением (в основном деградацией ризосферными микроорганизмами и корневой системой растений) нехарактерных веществ. Этот процесс занимает достаточно длительное время, в то время как скорость процессов загрязнения в современной техногенной среде ощутимо превышает скорость процессов существующего в природе биологического самоочищения. В связи с этим разработано большое количество технологий, которые по самым разным принципам осуществляют очистку почвы от токсичных и других нехарактерных соединений. При этом, несомненно, следует использовать экологически наиболее целенаправленные, безопасные для других организмов технологии, учитывая и их эффективность, и связанные с их использованием финансовые затраты.

В 2017 году ООН представила программу «Бой загрязнению пластиком» [69], цель которой – обеспечить условия для окружающей среды без загрязнения от исключительно широко распространенных пластиков, и эта программа все ак-

тивнее разворачивается. В мире ежегодно сбрасывается 260 млн тонн пластика, 10% из которых попадает в Мировой океан. Более двухсот биологических видов морской экосистемы страдают, принимая пластик за еду. Ежегодно по этой причине погибают 1 млн птиц и 400 000 млекопитающих. В 2017 году представлен проект EuRICAA (Europe, Russia, India, China, America, Africa) как мировоззренческая экологическая революция. Кодекс новых цивилизационных стандартов *Homo sapiens* предлагает пути решения данного вопроса. Несмотря на довольно серьезные достижения в области экологических технологий, основанных на совершенно разных принципах, в ряде случаев, глубоко научных по своей идее и содержанию, классические и новые инновационные экологические технологии пока не в состоянии глобально решить экологические проблемы в масштабе всей планеты. Человеческая ментальность – ходить дома как и в чем попало, зато хорошо выглядеть и оставлять хорошее впечатление в обществе – проявляется *Homo sapiens* и по отношению к экологии планеты.

С целью уменьшения эмиссии парниковых газов компания САН-ПАУЛО – (BUSINESS WIRE) – PepsiCo, одна из крупнейших производителей пищи и напитков в мире, реализовала инновационный проект на своем производстве сэндвичей в Сети-Лагоас: это солнечная тепловая электростанция (ТЭС), улавливающая солнечный свет и конвертирующая его в энергию для нагрева производственной воды. Благодаря этой технологии стало возможным уменьшить потребление природного газа на 140 000 м<sup>3</sup>, что в свою очередь уменьшает эмиссии парниковых газов (в общей сложности на 280 тонн). Это эквивалентно посадке почти 18 000 деревьев.

Второй по величине нефтяной штат США готовит к внедрению законопроект, связанный с уменьшением углеродных эмиссий [70]. Это позволит во втором по величине нефтедобывающем штате США редуцировать эмиссии парниковых газов, включая диоксид углерода и метана, до 50%.

Индустриализация планеты требует поиска новых источников энергии, или другая альтернатива – существенное снижение численности населения *Worldbiomom*. Несмотря на высокие мощности, обеспечивающие энергией больше половины мира, относительно реально действующих атомных электростанций существуют разные мнения.

На сегодня пока не существует реально выявленной альтернативы, по масштабам использования сравнимой с невозобновляемыми, ископаемым источникам энергии (нефть, каменный уголь, торф, сланцы). Появляются первые серьез-

ные данные относительно инновационных, экологически дружелюбных природе технологий. Одним из важнейших нетрадиционных источников получения дополнительной энергии является солнечная. Как известно, солнечная энергия не только опередила ветровую, но, что очень важно, частично даже оттеснила использование ископаемого топлива. Несубсидированные солнечные установки, появляющиеся все в большем количестве, становятся более конкурентоспособными, по сравнению с природным газом и каменным углем, сообщает Bloomberg. Инвестиции в солнечную энергию увеличиваются с каждым годом. Огромную часть этих технологий очень эффективно использует Китай, который стремительно развивает солнечную энергетику, являясь лидером в мировом масштабе. Следует полагать, что технологии получения энергии из возобновляемых источников, столь дружелюбных к природе, в ближайшем будущем обязательно получат дальнейшее фундаментальное развитие и реальную оценку их потенциала. Развитие солнечной энергетики возможно при наличии необходимых ресурсов. Редкоземельные металлы входят в состав основных элементов и комплектующих частей солнечных батарей, что ставит под некоторое сомнение экономичность и экологичность их массового использования.

Среди других возможностей необходимо отметить активно изучаемые технологии использования водорода, экологически чистого топлива, запасы которого практически не ограничены. Водород является одним из самых перспективных видов альтернативного топлива, что объясняется его исключительными теплофизическими свойствами, особенно важными для мобильной техники. Например, его использование в газовом или жидком состоянии в поршневых двигателях может быть реализовано на основе следующих концептуальных подходов: 1-й – использование водорода в качестве добавки к основному топливу (бензиновые и дизельные двигатели); 2-й – водородный двигатель со смесеобразованием и принудительным зажиганием водородно-воздушной смеси; 3-й – водородный двигатель с непосредственным впрыскиванием водорода.

Добавление водорода к традиционным углеводородным топливам улучшает экологические и мощностные показатели поршневого двигателя. Несомненно, использование водородных двигателей с точки зрения повышения мощности двигателя, неисчерпаемости запасов этого топлива, и особенно его экологических характеристик, представляют собой преимущества, которые уже в ближайшем будущем должны найти широкое применение [71].

Уже десятилетиями известно, и в обычной, и в патентной литературе, большое разнообразие технологий, основанных на физических (в том числе механических), химических и биологических принципах [72-75,31,32].

Ниже кратко рассмотрены потенциалы широко распространенных экологических технологий, принципы восстановления экосистем и методы защиты окружающей среды. Отдельная глава посвящена обсуждению возможностей, масштабов и перспектив новой инновационной биологической экологической концепции, в течение 30 лет разработанной авторами.

Так, в частности, хорошо известны [76-78] довольно эффективные технологии каталитического и плазмохимического способов очистки воздуха. Наряду с существующими экологическими технологиями более широкого профиля очистки окружающей среды от загрязняющих веществ – электростатическими, сорбционными, каталитическими, химическими – за последние годы активно обсуждаются плазмокаталитические технологии. Плазма, как известно, это газ, молекулы которого ионизированы. Она состоит из многих компонентов: электронов различных энергий, положительных и отрицательных ионов. Процесс деградации нехарактерных для природы веществ происходит по следующему принципу: загрязненный воздух проходит через газоразрядный реактор, в котором происходит их разрушение под действием низкотемпературной плазмы. Технология каталитического способа очистки воздуха основана на глубоком окислении продуктов конверсии, образовавшихся в результате прохождения воздуха через плазмохимический реактор. Технология рассчитана на действие низкотемпературного катализатора, который благодаря плазмохимическому механизму действия эффективно работает в диапазоне температур от 20°C до 50°C.

В дополнение к классическим и инновационным экологическим технологиям высказывается ряд соображений, имеющих социальный характер, но связанных с проблемами экологии. Французский философ Бруно Латур [79] выдвигает новую концепцию политической экологии. Однако, по мнению ряда авторов, идея политической экологии, выдвинутая в качестве основополагающего политического принципа охраны окружающей среды, не имеет перспективы. Настойчивость, сила и стремление *Homo sapiens* потреблять – берет свое. Поэтому политика не может защищать интересы природы, так как создана для защиты интересов человека, который и является ее субъектом. Политика может защищать природу, только наделив ее субъективными качествами и соответствующими правами.

Может быть, в этом весьма странном заявлении есть вполне рациональная идея – узаконить природу со всеми правами и требованиями, придав ей канонический характер, и определить обязанности для каждой страны.

### 3.1 Физические технологии

В рамках данной монографии возможен лишь краткий обзор используемых в экологии физических принципов. Для полноценной характеристики физических принципов необходимо описание сложных технологических процессов, используемых в практике, поэтому мы ограничимся лишь характеристикой самих принципов физических технологий.

Физические технологии основаны на физических принципах: это воздействие разных лучей, адсорбция техногенных соединений на специальных сорбентах, физическая сепарация, ионный и молекулярный обмен и др. [80-81]. По качественным показателям физические технологии являются достаточно эффективными, но требуют определенных материальных затрат (специфические материалы и оборудование), что часто делает их использование дорогим и, соответственно, нерентабельным. Эти технологии, ввиду их высокой эффективности, используются в тех условиях, где другие экологические технологии не могут дать желаемого результата.

Механические экологические технологии, представляющие разновидность физических технологий, основаны на чисто механическом воздействии – прессовании, фильтрации, осаждении и др. – и выделены отдельно. Технологии механического типа учитывают создание очистительных производственных систем для проточной загрязненной воды, сточных вод; осаждение и прессование отходов, что в последующем облегчает их переработку; использование принципа механической флокуляции; применение механических фильтров разных размеров, различающихся по мощности и проводимости [80-81]. Технологии этого типа активно используются на начальных этапах очистки воды и загрязненных водных растворов. Следует отметить достаточно высокую эффективность механических фильтров, действие которых основано на способности разных типов сорбентов удалять из производственного дыма токсичные, газообразные загрязняющие вещества (например, диоксид серы), а также твердые частицы малого размера.

К физическим технологиям следует отнести сбор загрязненного грунта и его захоронение [80-81]. Это исторически первая успешная экологическая операция,

которую использовали наши предки для устранения загрязнения окружающей среды. Понятно, что основной недостаток этой технологии состоит в том, что она не приводит к быстрой ремедиации загрязненного грунта, почвы или любого другого захороненного объекта, но таким действием загрязненный объект может быть изолирован от окружающей среды либо отдельной экосистемы. Существует риск распространения любой формы захороненного загрязнения (например, путем вымывания (экстракции), микробиологической конверсии, изменением температуры микроокружения и т.д.). Несмотря на это, сотни лет назад, когда уровень загрязнения окружающей среды был незначительным и содержание токсичных и радиоактивных соединений было ничтожно малым, загрязненная почва подвергалась ремедиации под воздействием окружающей захороненный объект почвенной микрофлоры [82]. Кроме микроорганизмов, в этом процессе активно участвует корневая система растений. Поскольку захоронения были сравнительно редкими, использование этой технологии не оказывало никакого критического влияния на окружающую среду, как на глобальном, так и на региональном уровнях. Такая примитивная экологическая биотехнология, хотя и редко, но все же применяется и до сих пор, особенно в развивающихся странах. Несомненно, существуют и более эффективные, и более современные физические технологии очистки почв.

**Электрохимическая очистка.** Технологию электрохимической очистки используют для удаления из почвы хлорсодержащих углеводородов, различных нефтепродуктов, фенолов и ряда других соединений, содержащих фенольное кольцо. В процессе движения электрического тока сквозь почву осуществляются электролиз воды, электрокоагуляция, реакции электрохимического окисления и электрофлотации. Степень окисления фенольных компонентов, согласно этой технологии, достигает 90%. Качественный уровень обеззараживания почвы при электрохимической очистке приближается к 100-процентному результату (минимальный – 95%). Метод позволяет удалять из почвы также такие тяжелые металлы, как ртуть, свинец, мышьяк, кадмий, цианиды. К недостаткам технологии следует отнести дороговизну процесса (\$100-250 за 1 м<sup>3</sup> почвы).

**Электрокинетическая очистка** почвы используется для очищения почвы от цианидов, нефти и углеводородов нефти, тяжелых металлов, хлористых органических элементов. Типы почв, по отношению к которым может успешно применяться электрокинетическая очистка, – глинистые и суглинистые, насыщенные



влажностью частично или полностью. Эффективность электрокинетической технологии составляет от 80 до 99 процентов. Стоимость \$100-170 за 1 м<sup>3</sup> почвы.

**Термическая обработка** загрязненных субстратов относится к интенсивно и широко используемым и много раз детально описанным технологиям [80-81]. Объект, подлежащий ремедиации (загрязненная почва, грунт или любой другой объект), обрабатывают в условиях температурного режима в пределах 1000-1200°C, во время которого происходит испарение токсичных соединений, обжиг и, соответственно, очистка объекта. Затем грунт охлаждают, выделяемые газы собирают и используют для других целей. Что же касается грунта (почвы), чаще всего его возвращают на первоначальное место. К этой технологии обращаются в том случае, когда грунт загрязнен стабильными термостойкими токсичными соединениями (например, хлорорганическими пестицидами, полициклическими ароматическими углеводородами и другими). В производственных масштабах, в условиях большой массы почвы или грунта, использование этой технологии значительно ограничено. Указанная технология имеет еще одну отрицательную сторону, а именно, в процессе термической обработки в перерабатываемой почве (грунте) полностью погибают характерные для того типа почв почвенные микроорганизмы всех таксономических групп, и для полноценного восстановления почвенной микробиоты, с учетом типа почвы и климата региона, требуются десятки лет. Вместе с этим технология сама по себе довольно дорогая, так как транспортировка ремедиационного материала и создание высокотемпературного режима для термической обработки больших объемов почв требуют немалых энергетических затрат.

### 3.2 Химические технологии

Все заводы, связанные с производством или переработкой химикатов, независимо от их размеров, существующей технологии и производимой продукции, эмиссией загрязняющих веществ представляют серьезную опасность для окружающей среды. Любой химический, металлургический, нефтеперерабатывающий завод, какими бы современными технологиями и аппаратурой не был оснащен, в процессе производства все же загрязняет окружающую среду различными токсичными соединениями [83].

Несмотря на то, что у современных химических заводов концентрация загрязняющих веществ в газообразных выбросах и сбросах сточных вод незначитель-

на, постоянно осуществляемые производственные процессы все же способствуют эмиссии солидного количества токсичных соединений в окружающую среду. Особого внимания заслуживают отходы производства химических заводов, их хранение и переработка. Даже при наличии соответствующих очистных систем все заводы этих типов остаются весьма опасными для окружающей среды [83].

Химические технологии очистки почвы от токсичных соединений основаны на использовании растворов поверхностно-активных веществ, органических растворителей или активных окислителей (активный кислород и хлор, щелочные растворы). В основном эти технологии применяются с целью очистки почвы от разнообразных неестественных компонентов, в том числе и от углеводов.

Среди отрицательных сторон химических методов очистки почвы следует отметить уничтожение микрофлоры в обрабатываемом сегменте почвы, длительные сроки их использования (в среднем от года до четырех лет) и большое количество промывной, загрязненной воды, которая в обязательном порядке должна подлежать переработке (дополнительной очистке).

Для того, чтобы иметь хотя бы приблизительное представление, какие экологические проблемы приходится решать в действительности, приведем следующий пример. По существующим данным, при годовом количестве перерабатываемых ископаемых равном 100 млрд тонн, в окружающую среду попадает почти 10 тыс. наименований антропогенных химических соединений, среди них: 60 млн тонн синтетических компонентов; 700-800 млн тонн минеральных удобрений; 5 млн тонн пестицидов; 50 млн тонн железа; 500 млрд м<sup>3</sup> переработанной жидкой массы [83]. Кроме этого, в процессе производства остается до 10 млрд тонн твердых остатков, то есть 10% от исходного количества ископаемых. Вот так выглядят усредненные данные переработки природных ископаемых.

Одной из наиболее широко распространенных химических экологических технологий является стабилизация/иммобилизация токсикантов в почве. Это происходит непосредственно на месте загрязнения и не нуждается в переносе грунта. В результате технологического процесса в загрязненный грунт вносят компоненты, способные связывать токсичные загрязняющие вещества. В результате образуются комплексные соединения, которые менее токсичны и из-за низкой растворимости не способны широко распространяться в почве. Примером является добавление фосфатов в почвы, содержащие свинец. Технология стабилизации или иммобилизации часто и успешно используются в почвах, загрязненных тяжелыми металлами [84].

Хорошо известна технология сорбции, основанная на адсорбировании или поглощении твердых или газообразных техногенных химических веществ путем их взаимодействия с различными химическими соединениями, приводящая к их связыванию, как в водных растворах, так и на твердых поглотителях. Тяжелые металлы, связанные нетоксичными химикатами, в условиях *in situ* значительно уменьшают токсичность образованных соединений. В ряде случаев используют технологии, основанные на химической и электрохимической сепарации [85].

В целом, в настоящее время химические технологии входят в перечень наиболее широко используемых в практике экологических технологий.

### 3.3 Биологические технологии

Биологические технологии, разработанные на основе биологических принципов применения микроорганизмов, растений, вирусов, ферментных препаратов, представляют собой сравнительно новое поколение экологических технологий, совершенствование которых все еще активно продолжается [86]. Реализация экологических технологий, имеющих общие принципы действия с существующими в природе процессами, для трансформации токсичных отходов в безопасные соединения, представляет задачу исключительной важности. В подавляющем большинстве они основаны на протекающих в природе химических и биологических процессах, таких, как конверсия, трансформация, гидролиз, ресинтез, в ряде случаев минерализация токсикантов и т.д.

Экологические биотехнологии находятся в фазе развития и совершенствования и основаны на дублировании природных принципов. Их практическое использование не нарушает экологического равновесия в природе. Необходимо отметить, что экологические биотехнологии имеют относительно низкий уровень материальных затрат, включая себестоимость, и технологическую простоту процессов.

В работах авторов раскрывается сущность экологических биотехнологий, которая состоит в характерной способности некоторых организмов (в основном однолетних и многолетних растений, микроорганизмов разных таксономических групп) в процессе обмена веществ осуществлять трансформацию и обезвреживание органических токсичных соединений, и в большинстве случаев минерализовать их, образуя природные неорганические соединения (такие, как  $H_2O$ ,  $CO_2$  и др.) [72]. Характерной особенностью растений является поглощение и накопление во внутриклеточном пространстве ионов тяжелых металлов. Эта генетиче-

ски детерминированная способность ряда растений представляет одну из основ процесса биологической ремедиации.

Микроорганизмы, особенно бактерии, гораздо быстрее, чем любые другие организмы, осуществляют деградацию органических соединений, разрушая их углеродный скелет, а высвобожденные углеродные атомы эффективно используют для синтеза клеточных метаболитов [72]. Все эти реакции основаны на действии ферментов и преимущественно осуществляются по принципу окислительной деградации токсикантов. Эукариоты (растения и мицелиальные грибы) и прокариоты (бактерии) своим деградационным потенциалом устраняют из окружающей среды органические токсиканты путем глубокой деградации их структур, принимая участие в характерном цикле круговорота углерода.

Растения характеризуются наиболее масштабным, повсеместным контактом с токсикантами (почва, воздух, вода) [87,88,1]. Как установлено, они осуществляют адсорбцию чужеродных соединений, после чего происходит их дальнейшее проникновение во внутриклеточные органы растений. Через определенное время, требуемое для адаптации и индукции соответствующих ферментных систем, начинаются химические превращения этих соединений (окисление, восстановление, гидролиз и др). Начальный этап – это время, которое требуется для мобилизации структур растительной клетки: индукция ферментов, участвующих в процессе детоксикации, дополнительная энергия, требуемая для процесса превращения токсичных соединений. В многоступенчатом процессе детоксикации токсичных соединений принимают участие почти все внутриклеточные растительные структуры.

Процесс обмена веществ в растениях по сравнению с микроорганизмами протекает сравнительно медленно. В ходе этих процессов имеет место в основном окислительная деградация углеродного скелета органических токсикантов – сложный и многоступенчатый процесс, что значительно увеличивает время обезвреживания токсичных соединений [1]. Согласно экспериментальным данным, в растениях процесс деградации (либо конверсии) стабильных токсичных соединений или их минерализации может длиться сутками.

**Фитоэкстракция.** Технология очистки загрязненных нехарактерными веществами почв методом фитоэкстракции – это выращивание определенных видов растений на загрязненных участках грунта. Фитоэкстракция демонстрирует хорошие результаты при очистке почвы от медных, цинк и никель содержащих со-

единений, а также кобальта, свинца, марганца и хрома. По окончании процесса фитоэкстракции растения следует собрать и сжечь. Полученный после сжигания пепел считается вредным отходом и подлежит соответствующей утилизации.

**Биоремедиация.** Это технология, основанная на целенаправленной селекции растений и усилении активности ризосферной микрофлоры почвы путем интродукции в почву активных штаммов микроорганизмов определенных таксономических групп (бактерии, мицелиальные грибы), выделенных из почвы и принимающих участие в деградации токсичных соединений. В процессе биоремедиации, ввиду обширного контакта с токсическими структурами, большую роль играют и растения. Именно их участие в биоремедиационных процессах определило возможность создания новой экологической концепции, основанной на совместном синергическом действии микроорганизмов и растений.

В условиях сравнительно низкого уровня загрязнения, с целью снижения потока загрязнителей от источника их образования и предотвращения их распространения, а также длительного сохранения нормального природного баланса (равновесия), особенно эффективным является использование селективно подобранных травянистых, кустарниковых и древесных растений [87]. Как было неоднократно показано, совместное действие растений и микроорганизмов характеризуется синергическим характером. Это значит, что эффективность их суммарного действия намного выше арифметической суммы действия каждого в отдельности. Этот процесс, основанный на действии живых организмов, называется биоремедиацией. В настоящее время биоремедиация признана одной из самых перспективных, «дружественных» окружающей среде экологических технологий. Использование этих технологий может быть рекомендовано для любого рода почв, даже для тех, в которых концентрация загрязняющих веществ превышает значение ПДК в 50 раз. Инновационный характер биологических, экологических технологий будет обсуждаться отдельно в главе, специально посвященной этой проблеме.

## 3.4 Проблемы ремедиации водных ресурсов и почвы

### 3.4.1 Вода

В XXI веке водные ресурсы питьевой воды с низкой концентрацией соли по жизненной важности уже значительно превосходят нефтегазовые. Сегодня вода –

чрезвычайно важная социальная, экономическая и даже политическая субстанция, в значительной степени определяющая здоровье общества, существование нормальной окружающей среды и развитие всех отраслей промышленности. Непрогнозируемое увеличение населения, интенсивная урбанизация, транспорт, энергетика, постоянно развивающиеся сельское хозяйство и промышленность – вот основные причины, ведущие к катастрофическому сокращению мировых ресурсов пресной воды. Уже через пару десятков лет вода природного происхождения на планете превратится в исключительно дефицитный продукт. Такое заключение позволяет сделать анализ мировых запасов, масштабы использования пресной воды, объем неочищенных сточных вод, превышающих природный потенциал их самоочищения. На всех континентах планеты есть страны, имеющие определенный запас пресной воды, и страны, не располагающие пресноводными источниками. Вода, как уже было отмечено выше, представляет собой один из важнейших жизненных компонентов. Для существования всех негалофильных организмов и подавляющего большинства промышленных процессов требуется пресная вода, недостаток которой уже представляет острый дефицит, что особенно чувствуется как минимум в 40 странах, которые занимают около 60% площади всей мировой суши. Эти данные дают возможность представить масштаб существующего мирового дефицита пресной воды [16,17].

По содержанию соли воду делят на несколько категорий: наиболее соленая вода из океана содержит в 1 литре от 10 до 35 граммов соли (в основном, в океанической воде содержание соли в среднем составляет приблизительно 35-40 граммов на литр); менее соленая вода, например, в озерах, реках и подземных водных объектах, в большинстве своем характеризуются содержанием в 1 литре от 2 до 7-10 граммов соли. Совершенно другое положение с запасом пригодной для питья пресной воды, которая содержит менее 1 грамма соли на литр и количество которой составляет всего лишь 2% от объема общего количества воды всех уровней солености. Для человечества именно запас пресной воды является наиболее важным и все более проблематичным, требующим особого внимания [16,17].

Кроме NaCl (поваренной соли), основными компонентами морской воды являются галогениды и сульфаты катионов  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ . Некоторые из них, например бром и йод, даже добываются из морской воды в производственных масштабах. Этим не исчерпывается содержание в морской воде химических соединений

и других отдельных элементов, среди которых по количеству их содержания следует выделить фосфор, рубидий, железо и цинк.

Анализ источников загрязнения морской воды позволяет особо выделить из них такие промышленные предприятия, которые в большом количестве вносят в состав морской воды крайне несвойственные изменения, это предприятия по переработке и использованию нефти, транспорт, в том числе водный, перевозящий нефть. В результате морскую воду без специальной обработки невозможно использовать для решения ряда жизненно важных проблем. Несмотря на это, колоссальный запас морской воды создает необходимость рассматривать ее, как наиболее реальную потенциальную субстанцию, имеющую постоянные, усредненные характеристики (химический состав). Морская вода, благодаря обитающему в ней колоссальному количеству организмов, включая галофильные формы микроорганизмов, и посредством природных факторов: энергии солнца, окислительного потенциала глобальной водной экосистемы, стехиометрического превращения, обладает колоссальной способностью самообновления. А это значит, что вода океана способна со временем возвращаться к своему естественному состоянию [73].

Приемы и технологии опреснения воды принято называть также деминерализацией или деионизацией. Как было отмечено выше, согласно санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к питьевой воде, концентрация соли в ней не должна превышать 1 грамма на 1 литр, которая в редких случаях, в виде исключения, допускается до 1,5 грамма на 1 литр. Однако в некоторых регионах планеты концентрация соли в подземных водах уже превышает этот показатель. Приблизительно такая же картина наблюдается во многих озерах и водоемах. В качестве уникального случая можно рассматривать озеро Байкал в Сибири, которое представляет собой огромный резервуар пресной воды объемом 23615 км<sup>3</sup>, являясь самым большим бассейном пресной воды в мире.

Известен ряд наиболее часто применяемых на практике технологий опреснения воды: [73,16] термическая обработка, мембранная технология, методы химического электролиза, ионообменные технологии, различные комбинации физических и физико-химических методов. Все эти технологии, за исключением единичных случаев, не используются в широких промышленных масштабах. Трудности практического применения состоят в сложных конструкциях аппаратов и специальных установок, требуемых для технологий; в использовании раз-

личных ингредиентов и выражаются в высоких финансовых затратах. Несмотря на это, они представляют достаточно обширную теоретическую базу для разработки новых инновационных технологий.

Повсеместно используют термическую обработку соленой воды. Такая обработка представляет собой перевод воды из жидкого состояния в парообразное с последующей конденсацией. Недостатком указанной технологии является то, что в процессе испарения морской воды вместе с паром из нее уходят и находящиеся в ней органические соединения с низкими значениями температуры кипения. Именно поэтому термическую обработку морской воды стараются выполнять в комбинации с другими технологиями, что приводит к повышению качества воды, но и, соответственно, удорожанию стоимости воды с низкой концентрацией соли.

Для обессоливания воды в промышленных условиях также используют метод обратного осмоса и электродиализа, как отдельно, так и совместно.

Использование ионообменного метода целесообразно в том случае, когда концентрация соли не превышает 2 граммов на 1 литр. Также к технологиям полупромышленного масштаба небольших размеров относят методы обратного осмоса, особенно в тех случаях, когда требуется получение воды высокой чистоты. В особых случаях для получения апиригенной воды высокой чистоты совместно с перечисленными выше технологиями используют методы деионизации.

Метод обработки воды ультрафиолетовыми лучами используется сравнительно редко при низких концентрациях соли в воде [73,16]. Однако присутствие органики в большом количестве, в ряде случаев, существенно ограничивает использование этого метода.

Ионообменный метод очистки воды также является довольно распространенным и используется для деионизации воды, предназначенной для промышленных целей. Частичное опреснение воды достигается катионами  $\text{Na}^+$ , вызывающими смягчение морской воды. Замена катионов кальция и магния ионами натрия и/или водорода понижает жесткость воды. В этом процессе за счет подбора соответствующих ионообменных смол можно обеспечивать полное опреснение воды с отделением всех макро- и микроэлементов. Технологии опреснения воды в промышленных масштабах могут применяться, как в одноступенчатых дистилляционных установках, так и в многоступенчатых – для получения воды высокой степени чистоты.



Помимо обессоливания воды, особое внимание уделяется ее очистке от сторонних примесей [17,96]. С этой целью, как правило, используют обработку воды химическими реагентами. Исходя из показателей уровня загрязнения воды, специально для этой цели подобранные химикаты вступают в реакцию с имеющимися в воде примесями (химическими соединениями или элементами) и выделяются в виде осадка. Для удаления примесей также используют жесткие (твердые) сорбенты разного типа. Следует иметь в виду, что химикаты, которыми обрабатывают питьевую воду, с одной стороны, понижают жесткость воды, а с другой стороны, не являются абсолютно безвредными для здоровья человека. С практической точки зрения использование химикатов технологически сравнительно проще, поэтому обработке воды химическими реагентами часто отдается предпочтение. Исходя из санитарно-гигиенических требований, практически абсолютные антимикробные свойства большинства химикатов, безусловно, имеют важное значение. Технология химической обработки воды любым химическим реагентом выбирается в зависимости от результатов предварительного анализа, который проводится с целью установления вида загрязняющего вещества, его концентрации и необходимого для очистки количества химического реагента.

В качестве окислителей в промышленном масштабе чаще всего используют следующие вещества: кислород, озон, перманганат калия (марганцовка), газообразный хлор, диоксид хлора, перекись водорода. У всех перечисленных соединений есть свои преимущества, а также определенные недостатки. Известны различные параметры оценки химических окислителей: количество требуемых реагентов на единицу объема воды; эффективность реакции – полнота удаления нежелательных или крайне нежелательных компонентов; время, требуемое для осуществления реакции; стоимость процесса и другие. В результате все оценивается эффективностью очистки и стоимостью процесса. Во время использования химических методов учитывается, что для достижения максимальной эффективности удаления нежелательного компонента в обрабатываемую воду требуется добавлять лишь очень небольшое избыточное количество реагента.

Наиболее часто в качестве окисляющего агента применяют кислород. Концентрация кислорода оказывает влияние на качество. Именно поэтому при очистке воды количество растворенного в ней кислорода систематически должно контролироваться. Кроме кислорода в использованной воде контролю подлежит шести-

валентный хром, который является аллергическим соединением, и его удаление из воды, предназначенной для любых целей, является абсолютно обязательным условием.

В состав воды (природной или обработанной), кроме солей натрия, калия, кальция и магния, обязательно входят соли железа, алюминия, бора. Для питьевой воды удаление соединений железа также является необходимым условием. Для этой цели довольно эффективным являются методы, основанные на химическом окислении. Реакция протекает довольно быстро, и соединения железа в виде окислов выпадают в осадок, который легко отделяется фильтрацией.

Для санитарно-гигиенической очистки воды наиболее распространенным реагентом является хлор. Этот реагент обезвреживает в воде бактерии и вирусы и с точки зрения биологической дезинфекции воды является самым распространенным реагентом. Вместе с тем следует отметить, что хлор является опасным соединением, и его транспортировка, хранение и использование требуют соблюдения особых правил безопасности. Хлор имеет довольно широкий спектр действия. В зависимости от концентрации хлор действует не только на бактерии и вирусы, будучи использованным в избыточном количестве, он изменяет химический состав воды. Часто в хлорированной воде выявляются хлороформ и хлорфенол, которые также должны быть удалены. В ряде отраслей промышленности количество используемого хлора допускается от 2 до 5 миллиграммов на 1 литр воды.

Нанофильтрация [93] отличается своей универсальностью. Позволяет убрать цвет и галогены, содержащие органические примеси, без использования вредных реагентов. Эта технология эффективна при борьбе с остатками хлора, хотя требует применения многоступенчатой предварительной очистки. Технологический процесс учитывает использование разных фильтров и коагуляцию. Если к чистоте воды предъявляются особые требования, перед нанофильтрацией для дополнительной очистки воды применяют ультрафильтрационные установки или обратный осмос. Нанофильтрация из-за большого количества подготовительных этапов является дорогим способом очистки и используется только для воды специального назначения.

Технология озонирования при обработке воды отличается от всех химических технологий тем, что ни на одном этапе использования не оказывает какого-либо токсичного или другого влияния на химический состав воды. Приблизительно

через час после обработки воды озон испаряется с ее поверхности. Эта хорошо апробированная, экологически безопасная технология, хотя требует достаточно громоздких технологических установок, транспортировка и монтаж которых связаны с определенными сложностями. Классические, традиционные химические методы очистки воды (хлорирование, озонирование) по сей день активно используются на практике.

Развитие новых отраслей промышленности, связанных с современной цивилизацией потребления *Ворлдбиома*, привело к возникновению многих новых, загрязняющих окружающую среду химических соединений, что стало причиной появления в питьевой воде новых нехарактерных для нее соединений. Например, таких как: перфтороктановая кислота, полифторалкиловые соединения, полихлорированные бифенилы (ПХБ), ионы аммония, тяжелые металлы, в частности ионы, содержащие шестивалентный хром, полициклические ароматические углеводороды, новые фармацевтические, ветеринарные препараты, новые формы ПАВ, новые пестициды и другие вещества, существование которых ранее в воде не отмечалось.

В последнее время особое внимание обращается на перфтороктансульфоновую кислоту (ПФОС), которая представляет собой типичное ПАВ (рисунок 11).



**Рис. 11.** Структура аниона ПФОС

Внутримолекулярные химические связи ПФОС являются очень прочными, что обуславливает высокую стабильность этого соединения. Поэтому, попадая в воду, анион ПФОС практически не подвергается биотическим и абиотическим превращениям. Высокая поверхностная активность, которая у ПФОС гораздо выше, чем у аналогичных ПАВ с углеводородной цепочкой, позволяет ПФОС быстро распространяться в окружающей среде и легко биоаккумулироваться, проникая в живые организмы, преодолевая мембранные барьеры. Многочисленные данные подтверждают канцерогенные свойства ПФОС. Попадая в организм, ПФОС вызывает эндокринные нарушения, резкое снижение функций иммунной системы, задержку физического развития и роста. Удаление таких соединений из

питьевой воды категорически необходимо и требует использования соответствующих технологий [83,16,17,96].

Если говорить об эффективности обработки воды химическими реагентами, то следует отметить, что химические технологии дают возможность избирательно удалять из воды нежелательные химические компоненты; катионы, способствующие повышению жесткости воды; ионы железа, находящиеся в растворимом состоянии; широкий спектр органических соединений; растворимые газы; хлор; ионы, содержащие кремний; анионы – хлориды, нитраты и нитриты; бактерии и вирусы; фактически все те компоненты, которые представляют угрозу для здоровья человека. Поэтому химические технологии очистки воды используются наиболее масштабно.

На первых этапах очистки сильно загрязненной воды широкое использование находят экологические фито- (водные растения и водоросли) и био- (микроорганизмы) технологии [89,72,73,94,95].

В водных средах микроорганизмы довольно быстро и активно осуществляют деградацию антропогенных соединений, часто их минерализируя. Процесс биологической очистки загрязненной воды, в зависимости от структуры и стабильности загрязняющего компонента, может длиться несколько дней. Несмотря на широкий деградационный спектр микроорганизмов, важным фактором эффективности биологических технологий по отношению к загрязняющим веществам является использование соответствующих, селективно подобранных активных штаммов микроорганизмов (бактерий и реже – мицелиальных грибов), базируясь на их способности минерализовать или трансформировать углеродный каркас органических токсикантов до уровня обычных клеточных соединений или двуокиси углерода и воды. Такая обработка воды представляет собой первый этап очистки, во время которого имеет место частичная деминерализация и частичная или полная деградация находящихся в воде антропогенных соединений. Последующим этапом этого процесса чаще всего является фильтрация и дальнейшая обработка другим методом. По мере развития промышленности очистка воды биологическими технологиями находит все более широкое применение. Более того, разработаны микробиологические методы частичного опреснения соленой морской воды, для чего подобраны консорциумы галофильных (любителей соли) и галотолерантных бактерий.

### 3.4.2 Почва

Почва по сравнению с водой является гораздо более многокомпонентной, активно действующей, обладающей многими сходными характеристиками с жизнедееспособными организмами. Это отдельная биологическая ниша, состоящая из разных почвенных организмов, для которой характерна высокая метаболическая активность [74].

Для нормальных почв характерно наличие разнообразных химических компонентов: ионов металлов, низко- и высокомолекулярных органических метаболитов (белков, полисахаридов, нуклеиновых кислот, аминокислот и органических кислот, сахаров и др. конгломератов, состоящих из этих компонентов), разного вида коллоидов, воды, соли и других химических соединений. Микрофлора и другие почвенные организмы вместе с химической частью являются основными создателями химико-биологического и экологического потенциала почвы, обеспечивающего рост и урожайность всех растений, и представляют собой многокомпонентную нишу, довольно чувствительную к изменениям условий внешней среды. Почва легко и надолго аккумулирует в своих структурах любой антропогенный фактор, ведущий к нарушению биологического равновесия [91].

Почти любое промышленное предприятие, находящееся вблизи от сельскохозяйственных плантаций, отрицательно влияет на протекающие в почве естественные процессы, способствуя загрязнению и, в зависимости от климатических условий региона, эрозии, опустыниванию, выветриванию, заболачиванию. В результате почва превращается в менее или вовсе не пригодную для культивирования сельскохозяйственных культур территорию. Выявление причин этих нарушений и проведение соответствующих мероприятий по их устранению (ремедиации) является важнейшей задачей современной аграрной экологической науки. В настоящее время, согласно данным ООН, на одного жителя планеты приходится примерно 2 га земли. Следует иметь в виду, что под этой площадью, кроме плодородных, пригодных для сельскохозяйственных плантаций земель, подразумеваются регионы «вечной мерзлоты», пустыни, болота, горные массивы и другие места, не подходящие для аграрных целей, которые составляют около 64% всей земной суши. Таким образом, важность состояния и масштабы полноценной почвы обязывают человечество постоянно проводить особые агро-ремедиационные мероприятия по уходу за относительно небольшой площадью земной суши, соответствующей плодородной почве, с целью увеличения ее плодородия.

Именно этому служат все экологические технологии ремедиации почвы, значением которых является максимальное сокращение перечисленных выше факторов нарушения природного баланса или же полное их предотвращение [97,98]. Ниже приводятся возможные заражения почв, в зависимости от их типа, климата и агрегатного состояния:

- загрязнение почвы различными загрязняющими веществами: твердыми, жидкими и газообразными, в состав которых входят органические соединения, тяжелые металлы, оксиды углерода, азота, серы, канцерогенные бенз(а)пирен, бензантрацен, оксид углерода и другие техногенные токсичные соединения антропогенного происхождения, выделяемые транспортом, движущимся по магистралям вдоль или вблизи аграрных плантаций;
- избыточное использование и/или неполное усвоение производимых для аграрных целей новых и используемых химикатов (органических и неорганических удобрений, пестицидов);
- углеводороды, другие нефтепродукты, частично трансформировавшиеся и осевшие в почве на разной глубине в результате добычи, транспортировки и использования нефтепродуктов;
- токсичные соединения, в большом количестве выделяемые энергетическими комплексами в процессе горения энергоресурсов: газы, нефтепродукты, каменный уголь, торф, сланцы и другие.

Исходя из жизненно важного значения качества почвы, с целью снижения техногенного загрязнения используют различные химические, физические и биологические технологии [99-101].

Наиболее простыми являются физические (механические) технологии, которые заключаются в механическом удалении (срезании) верхнего слоя загрязненной почвы. Толщина такого слоя зависит от вида и характера загрязнения, от времени действия на почву токсиканта и может достигать 2 м. Замена зараженной почвы должна осуществляться новой, здоровой, если есть такая возможность. Что касается срезанного слоя, то, чаще всего, для устранения токсичности его обрабатывают термическим методом в высокотемпературных условиях (1000-1200°C) или агрессивными химическими растворами (в основном с этой целью применяются кислоты, щелочи, органические растворители). В ряде случаев обработанная, свободная от токсических компонентов почва возвращается на первоначальное место. Основной недостаток технологий этого типа – полное унич-

тожение ризосферной микрофлоры почвы и всех других почвенных организмов, для восстановления которых, в зависимости от типа почвы и других факторов, требуется длительное время, в среднем не менее десяти лет.

Электрохимическая технология очистки почвы используется для устранения нехарактерных токсичных соединений, в основном нефтепродуктов и других органических токсичных соединений [99-101].

При этом достигается частичная или полная минерализация органического загрязняющего вещества. Такая технология предусматривает установку в почве специально сконструированных электродов с последующим их перемещением в масштабе почвы по мере необходимости. Эта операция вызывает электролиз воды, находящейся в почве, и устраняет из нее такие токсичные вещества, как цианиды, кадмий, ртуть и другие. Несмотря на высокую эффективность очистки почвы, эта технология трудноосуществима, так как, кроме затрат электроэнергии, требует наличия специального оборудования, в связи с этим используется только в определенных случаях.

Химические технологии ремедиации почвы отличаются от физических. Эти технологии основаны на действии разных химических соединений, способных разлагать или связывать загрязняющие вещества. В первую очередь следует выделить группу химических окислительных агентов (пероксиды, ионы металлов с переменной валентностью), которые способны осуществить окислительную деградацию органических загрязняющих веществ, например, углеводородов нефти, полициклических ароматических углеводородов и других. С этой же целью применяются ПАВ, способные удалять из почвы подавляющее большинство токсичных и других нежелательных соединений. В других технологиях применяются химикаты, вызывающие осаждение ионов тяжелых металлов и радионуклидов в виде нерастворимых соединений (например, в виде гидроксидов и карбонатов). Химические технологии также предусматривают добавление химикатов, которые образуют в почве нетоксичные комплексы с загрязняющими веществами. Например, именно таким образом часто обрабатывают почву, загрязненную тяжелыми металлами. Имобилизацию цианидов, нитратов, тетрахлоридов осуществляют на цементе, золе, силикатах натрия и калия, бентоните, целлюлозе. Оценивая в целом наиболее чаще используемые химические экологические технологии, следует отметить их колоссальную регулирующую роль в существующем экологическом балансе, хотя надо подчеркнуть, что эффективность использования этих

технологий перманентно уменьшается в связи с непрогнозируемо увеличивающимся потоком соединений токсичной природы.

### 3.4.3 Воздух

По данным ВОЗ, загрязнения воздуха ежегодно убивают около 7 миллионов человек и являются самым большим в мире риском для здоровья, связанным с окружающей средой. Каждый восьмой смертельный случай связан с загрязнением воздуха, 9 из 10 человек в мире дышат загрязненным воздухом. Согласно недавним исследованиям, обнаружено, что воздействие сильно загрязненной окружающей среды может увеличить потенциальную смертность и от вирусных инфекций, включая COVID-19. В настоящее время имеются убедительные доказательства того, что существует тесная связь между глобальным потеплением и возникновением масштабных лесных пожаров, таких, как недавние пожары в Калифорнии и Австралии, от которых страдают многие люди, которые также задыхаются от огромного количества дыма и загрязненного воздуха. Специалисты по воздуху Кремниевой долины занимаются разработкой инновационных технологий для решения растущих проблем, связанных с качеством воздуха. Например, технология Airdog Two Pole Active (ТРА) исследовалась и развивалась в течение последних двадцати лет. После того, как продукты серии Airdog ТРА X были обнародованы, с 2017 года они неуклонно набирали популярность во всем мире.

Современные методы очистки воздуха довольно разнообразны. В воздухе существует много разных типов загрязняющих веществ, включая частицы всех размеров; химические вещества, такие как формальдегид, бензол и т.д.; микроорганизмы, такие, как бактерии и вирусы, например, вирус SARS-CoV-2. Установлено, что улучшение качества воздуха существенно снижает риск респираторных заболеваний. В очистителях воздуха используется комбинация технологий для циркуляции воздуха и удаления различных загрязняющих веществ, что обеспечивает здоровое качество воздуха в помещении. Существует несколько ключевых показателей для измерения эффективности очистителей воздуха.

- Скорость подачи очищенного воздуха (CADR), Clean Air Delivery Rate.

CADR определяется как объем воздушного потока в единицу времени, необходимый для удаления всех частиц в заданном диапазоне размеров. CADR используется в качестве показателя эффективности воздухоочистителей. Он основан на



соотношении между однопроходной эффективностью очистителя и его расходом и обычно выражается в кубических футах в минуту (CFM) или кубических метрах в час. Тест CADR проводится в герметичной камере стандартного объема. После того, как загрязнитель попадает в помещение и смешивается с воздушным пространством, тест CADR начинается с включения очистителя; а затем количество частиц подсчитывается через заданные промежутки времени. CADR рассчитывается на основе скорости уменьшения количества частиц, оставшихся в помещении. Значение CADR определяет, насколько быстро помещение можно очистить с помощью данного очистителя воздуха. Оно также определяет рекомендуемый размер помещения для очистителя воздуха, т.е. размер комнаты, которую он может очистить за приемлемое время. Как правило, рекомендуемый размер помещения в квадратных метрах для очистителя воздуха равен 1/10 числа CADR, выраженного в кубических метрах в час. Точно так же CADR для различных газов определяется как скорость потока воздуха, из которого удалены все газообразные загрязнители. Измеряется в той же испытательной камере.

- Совокупная чистая масса (CCM) – это показатель общей массы целевых загрязняющих веществ (твердые частицы и/или газообразные загрязнители), которые прибор может совокупно очистить в номинальных и заданных условиях требуемого времени. Этот индекс CCM (мг) вместе с CADR показывает, насколько эффективно воздухоочиститель может очищать воздух. CCM также можно связать/преобразовать в другой показатель – «Срок службы очистки» (дни) воздухоочистителя, и, таким образом, важно оценить частоту необходимости смены фильтров, очистки системы и срок службы. Большие значения CCM означают, что вы можете реже менять фильтр или чистить электроды.

- Скорость удаления патогенов определяет способность очистителя удалять патогенные формы бактерий и вирусов. Очистители воздуха удаляют патогены с помощью двух механизмов – фильтрации и инактивации. Большинство переносимых по воздуху патогенов адсорбированы на аэрозольных частицах. Удаление этих частиц из воздуха уменьшает количество патогенов в воздухе. Для инактивации требуется физический (например, плазма, ультрафиолетовое излучение) или химический (например, озон,  $H_2O_2$ ) метод для уничтожения или инактивации патогенов. Специализированные агентства по тестированию могут оценить скорость удаления патогенов, используя стандартную тестовую камеру в соответствии с конкретными протоколами тестирования.

## **Технологии очистки воздуха**

**I. HEPA.** В воздухоочистителях с механическим фильтром используется вентилятор, который продувает воздух через гофрированный волокнистый фильтрующий материал. Фильтр улавливает твердые частицы механически, путем диффузии. По мере накопления твердых частиц в фильтре, его поры забиваются и перепад давления становится слишком большим. В таких случаях фильтрующий материал требует замены. Это – дорогостоящая процедура. Частота замены определяется размером помещения и уровнем внутреннего загрязнения, а также скоростью вентиляции между внутренним и наружным воздухом. Однако размеры некоторых патогенных форм бактерий, равные 700-800 ангстремам, слишком малы, чтобы их можно было удалить, и они могут проходить через воздушные фильтры. Когда микроорганизмы остаются на поверхности HEPA-фильтра даже с невысокой влажностью, они начинают размножаться. Это основной источник запаха от очистителя воздуха в процессе использования. Фильтры HEPA с более высокой степенью фильтрации имеют более высокое сопротивление воздушному потоку, поэтому требуется более мощный вентилятор с высоким статическим давлением. Это увеличивает, как шум, так и энергопотребление.

**II. Ионизация.** На рынке представлено множество типов ионизаторов. Они используют материал с низким барьерным потенциалом, который испускает электроны при приложении высокого напряжения. Эти свободные электроны присоединяются к частицам в воздухе. Ионизаторы удаляют некоторые загрязняющие вещества из воздуха, однако заряженные частицы оседают на таких поверхностях, как стена, пол или мебель. Обычно показатель ионизаторов слишком низок для эффективного удаления загрязняющих веществ в помещении. Они могут оказывать ограниченное воздействие на патогены, когда сталкиваются с ними, но без надлежащего сбора, в конце концов, их польза для здоровья все еще нуждается в дальнейшем изучении и оценке.

**III. УБО.** Ультрафиолетовое бактерицидное облучение (УБО) представляет собой метод дезинфекции, в котором ультрафиолетовый свет используется для уничтожения или инактивации микроорганизмов путем разрушения их ДНК, чтобы они не могли размножаться. Однако высокие дозы УБО оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье, приводя к кожной эритеме (поверхностному покраснению кожи) и болезненному состоянию глаз, известному как фотокератит. УФ-облучение может инактивировать вирусные частицы в воздухе, однако

имеет очень ограниченную эффективную зону. Эффект УБО оценивают по двум факторам: площади контакта и времени контакта. УБО эффективно только при достаточно длительном времени контакта. Если движение воздуха осуществляется слишком быстро, ультрафиолетовые лучи будут иметь ограниченное воздействие на уничтожение патогенов, которые могут сохранять свои инфекционно-аллергенные свойства даже после ограниченного УФ-облучения. Кроме того, если вирус/бактерия скрыты от облучения загрязняющими веществами или другими объектами, они не подвергаются воздействию ультрафиолетового облучения. Таким образом, при использовании даже сильного и продолжительного УБО, но без надлежащей системы вентиляции и фильтрации, скорость удаления/уничтожения бактерий также может быть ограничена.

**IV. Фотокаталитическое окисление.** Фотокаталитическое окисление (ФКО) представляет собой серию каталитических материалов (как, например,  $TiO_2$ ), которые могут быть активированы фотонами высокой энергии (<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/photocatalysis>). ФКО используется для очистки газообразных загрязнителей и разлагает многие загрязняющие вещества, пропуская воздушный поток через катализатор. ФКО эффективно удаляет летучие органические эфирные масла, алканы, а также другие загрязняющие вещества. Однако образование побочных продуктов, таких как формальдегид, является критической проблемой для каталитического окисления. ФКО не может удалить аэрозоли, переносящие патогены.

**V. Электростатические очистители воздуха (ЭОВ).** Принцип фильтрации воздуха ЭОВ заключается в следующем:

1. Воздух проходит через предварительный фильтр, крупные частицы, такие, как волосы, перхоть домашних животных и т.д., улавливаются предварительным фильтром;
2. Воздух попадает в зону ионизации. Провода эмиттера находятся под высоким напряжением. Частицы заряжаются эмиттерными проводами и ускоряются электрическим полем между проволочным каркасом и собирающими пластинами. Когда заряженная частица движется к собирающим пластинам, она, сталкиваясь с другой пылью или частицами в ионном поле, создает лавинный эффект, таким образом все больше частиц заряжаются и собираются собирающими пластинами;

3. Заряженные частицы и загрязняющие вещества движутся к собирающим пластинам (противоположно заряженным) под действием электрического поля. Загрязняющие вещества собираются собирающими пластинами, ионы нейтрализуются, а свежий воздух продолжает поступать;
4. Последний барьер – композитный каталитический слой. Он устраняет запах и обеспечивает поступление свежего воздуха из очистителя воздуха. Основными преимуществами ЭОВ по сравнению с традиционными фильтрами HEPA являются: стоимость эксплуатации (нет необходимости в замене фильтров) и пониженный уровень энергопотребления и образования шума.

ЭОВ эффективны для удаления всех патогенов (бактерий и вирусов) из воздуха, что доказано многочисленными исследованиями, проводимыми на протяжении десятков лет в Китае и США.

Несмотря на однозначно положительный экологический эффект, определяемый совершенно разнообразными технологиями, их действие следует сопоставлять с естественными возможностями самой природы, прародительницы всего живого. В случае возможности имитации естественных процессов им безусловно следует отдавать приоритет как наиболее дружественным природе технологиям.

### **3.5 Инновационные технологии, основанные на действии микроорганизмов и растений**

Основной принцип постоянства природы и, соответственно, жизни на нашей планете, определяется ее бесконечным обновлением. Буквально все формы живых организмов (прокариоты, эукариоты), составляя колоссальное биоразнообразие, начиная от самых сложных в морфологическом, физиологическом и биохимическом отношении (человека, животных организмов, растений), вплоть до самых простых микроорганизмов (прокариот, эукариот, аэробных, анаэробных), подлежат обновлению [102,92].

Обновление и эволюционирование буквально всех организмов, населяющих нашу планету, являются взаимосвязанными биологическими, технологическими процессами, обеспечивающими постоянство существования жизни на планете. Именно в процессе образования новой генерации чаще всего происходит его совершенствование по отношению к условиям окружающей среды или другим

факторам. Этот процесс, осуществляющийся миллионы лет, продолжается и по сей день.

Одной из основных причин постоянных биологических усовершенствований организмов и, соответственно, жизненно важных процессов на Земле, является сама природа, которая в определенной степени так же изменчива. Любые, даже совсем незначительные, изменения в условиях окружающей среды, будь то естественные или нехарактерные токсичные соединения, или какие-либо другие, существенным образом влияют на физиологию живых организмов, вызывая спонтанные мутации, нарушение основных метаболических путей, соответственно влияя на синтез характерных метаболитов, морфологию клеток и т.д. Все эти постоянно меняющиеся, хотя и очень незначительно, природные факторы оказывают влияние на эволюционные процессы всех форм живых организмов, воздействуя и на их генетический аппарат, очень часто вызывая необратимые преобразования.

Следует отметить, что организмы в своем разнообразии обладают разной устойчивостью к изменениям условий окружающей среды [103].

Устойчивость (стабильность) генетического аппарата к меняющимся природным условиям часто является фактором, определяющим эволюционный потенциал организмов. Более податливые формы (менее устойчивые) подвержены изменениям, в том числе и летального характера. Более устойчивые формы сохраняются в исходном состоянии или постепенно подвергаются, иногда даже визуально, незаметным изменениям.

К таким изменениям относятся изменения климата в отдельных регионах планеты, происходящие в результате сложных высокотемпературных процессов, имеющих место в недрах земли, в частности: постоянных землетрясений, извержении вулканов, потери водных ресурсов – продолжительных процессов засухи, заболачивания в результате большого количества осадков и разливающихся в больших масштабах рек, появления патогенной микрофлоры, сопровождающегося повышенными процессами биологического окисления и др., часто бывших основной причиной территориального перемещения народов и наций. Не имея соответствующих технологий, с целью разрешения насущных проблем, наши предки в результате многочисленных жертв были вынуждены покидать привычные места жительства.

На сегодня жители планеты, обладая всеми необходимыми технологиями, способными устранить почти любые неблагоприятные для жизни факторы, все еще имеют темные пятна в виде неудобных для жизни регионов, что можно объяснить отсутствием должного интереса мирового сообщества к окружающей нас среде, в основном обусловленного максимальным использованием всех природных богатств для коммерческих целей и, следовательно, нерациональным природопользованием.

Нельзя не отметить и те проблемы, которые характеризуют суперразвитый технологический мир, именно такой, каким является наша планета. В данном случае речь идет о постоянно увеличивающейся концентрации токсичных соединений антропогенного характера, в ряде регионов планеты более чем в 30 раз превышающих предельно допустимые концентрации. Не вызывает сомнения, что в результате продолжительного нахождения популяции *Homo sapiens* в условиях повышенного токсичности окружающей среды возможны нежелательные отклонения физиологических, метаболических и эволюционных процессов.

В ряде случаев эволюционный процесс, являющийся длинным путем внутриорганизменных преобразований, приводит к созданию новых, более устойчивых форм жизни, лучше адаптированных к существующим условиям, по сравнению с предшествующим им материнским формам.

Вместе с тем многократно подтверждено [104,105,102,92], что изменения условий окружающей среды отрицательно или крайне отрицательно влияют на физиологическое состояние человека, способствуя понижению иммунитета, повышению подверженности заболеваниям, нарушению нормального метаболизма. Человек постоянно связан с окружающим миром пищей, водой, воздухом и солнечной энергией, определяющими, и качественно, и количественно, все возможные физиологические изменения. Еще одна невидимая связь человека с природой заключается в отношениях с растениями. Несомненно участие растений в таких жизненно важных биологических процессах, как фотосинтез, фиксация и ассимиляция молекулярного азота, очистка окружающей среды от нехарактерных природе токсических соединений, и многое другое, без чего жизнь была бы элементарно невозможной.

Будучи источником всевозможных пищевых продуктов, фитотерапевтических препаратов, очень важных стройматериалов и многого другого, растения

вносят значительный, просто неоценимый вклад в существование человека [92,102].

Несмотря на разное отношение людей к растительному миру, заключающееся в постоянном уменьшении растительных плантаций, растения до сих пор занимают более 40% всей земной суши. Созданные и эволюционированные природой растения являются основными партнерами человека в процессе его формирования от первобытного прототипа до современного феномена. Как не вспомнить при этом историческую роль растений в жизни человека. Растения традиционно используются как материал (дома, мебель, обстановка, всевозможная утварь, оснастка корабля, бумага, волокна, одежда, оружие). Древесина многолетних деревьев как источник энергии способствовала выживанию наших предков в древние и средние века и в значительной степени способствовала освоению для жизни северных регионов планеты. Окультуренные растения дают урожай, без которого немыслима человеческая жизнь. Растения в кооперации с микрофлорой почвы создают особые условия для плодородия почвы и получения урожая, и т.д.

Как уникальная форма жизни растения характеризуются своеобразными метаболическими путями обмена веществ, что находит выражение в синтезе большого количества вторичных метаболитов, в том числе и большого количества низкомолекулярных соединений (метаболитов) [92,106].

Большое количество и многообразие низкомолекулярных соединений, согласно их функциональной нагрузке часто именуемых вторичными метаболитами, образуемыми растениями, в процессе роста и развития служат для физиологических целей и самозащиты растений от фитопатогенных микроорганизмов, разнообразных насекомых и животных.

Известно, что наиболее высокая функциональная активность растений проявляется в оптимальных для них климатических условиях. Именно этот фактор определяет повышенную активность растений в почти идеальных для роста и развития тропических и субтропических зонах [107,108].

Однако, находясь в любых почвенно-климатических условиях, обеспечивающих их рост и развитие, растения в значительной степени сохраняют уникальную метаболическую активность, направленную на характерный синтез низкомолекулярных метаболитов, соответствующий виду растений и региональным почвенно-климатическим условиям.

Необходимо отметить, что, несмотря на необыкновенное многообразие растений, оно почти постоянно уменьшается под влиянием не только естественных изменений окружающей среды. Очевидно, не следует принимать во внимание искусственно создаваемые генмодифицированные формы растений, количество которых в природе неизмеримо меньше, чем естественных форм растений.

В целом, даже всем вышесказанным не исчерпывается вклад растений в обеспечение жизненных условий. Исследования и практика в течение трех последних десятилетий выявили еще одну уникальную способность большинства растений: усваивать и ассимилировать токсичные органические соединения, и в большинстве случаев минерализовать их, то есть разлагать до элементарных неорганических соединений, таких, как вода и двуокись углерода [63,109-112].

Уникальность растений заключается и в том, что, в отличие от других организмов, растения являются универсальными детоксификаторами, осуществляющими деградацию, как естественных, так и ряда антропогенных токсичных соединений до стандартных клеточных метаболитов, тем самым очищая от загрязнения все основные компоненты окружающей среды – почву, воду и воздух.

В отчетах крупных мультинациональных компаний указывается стоимость, связанная с очисткой окружающей среды от техногенных соединений, определяемая использованием современных экологических технологий в рамках ремедиационных мероприятий [113]. Исходя из перманентно повышающейся экологической загрязненности планеты, эта стоимость постоянно увеличивается и, по подсчетам авторов на нынешний период, как минимум, ежегодно составляет не менее 80 млрд долларов США. Это вовсе не означает, что этими мероприятиями осуществляется полное обезвреживание всех компонентов окружающей среды от чужеродных соединений, часто канцерогенной природы. Чтобы как-то приостановить этот непрогнозируемо растущий процесс, или хотя бы уменьшить крайне отрицательное влияние техногенных факторов на окружающую среду, необходимо оперировать глобальными инновационными технологиями, основанными на действиях биологических агентов. Технологии этого типа являются либо очень приближенными к естественным процессам, либо составляют суть природных превращений и, следовательно, максимально дружелюбны природе. В настоящее время именно такими агентами, охватывающими всю земную сушу и водные ресурсы, являются только растения и микроорганизмы.



### 3.5.1 Микроорганизмы и растения – детоксификаторы глобальных масштабов

В течение последних десятилетий, когда интерес к экологическим биотехнологиям существенно возрос и экологический потенциал микроорганизмов реализовался в реально существующую технологию [109,112,114,49], растения в это время оставались практически невостребованными. Они расценивались лишь как организмы, способные только поглощать и аккумулировать токсичные соединения во внутриклеточном пространстве, и даже на идейном уровне не предполагалась возможность трансформации растениями токсичных соединений в безвредные или обычные клеточные соединения (метаболиты). Группа ученых еще в 70-80 годах XX века впервые представила данные о возможном экологическом потенциале растений [92,115,116,109,87].

Впоследствии, в ряде лабораторий разных стран, эти данные были подтверждены. Сегодня, базируясь на многочисленных данных об их экологическом потенциале, растения вполне можно расценивать как экологических агентов. Именно этот фактор и придает растениям (включая сельскохозяйственные плантации) глобальный экологический характер, представляя собой постоянно действующую экологическую биотехнологию. Разные виды растений могут значительно отличаться детоксикационным потенциалом, то есть с разной интенсивностью и специфичностью осуществлять роль активных, менее активных и незначительно активных экологических агентов. Однако это никоим образом не уменьшает их абсолютно важную роль в соблюдении глобального экологического баланса [87,31].

Именно с установлением этого факта открываются совершенно новые перспективы в создании дружественных природе инновационных экологических биотехнологий, призванных очищать и облагораживать (приближать к природе) буквально все экосистемы. В таблице 13 представлен перечень растений, рекомендуемых для реализации экологических биотехнологий, который не является исчерпывающим списком растений-детоксификаторов и который в будущем, несомненно, будет дополнен.

## Перечень растений, рекомендуемых для экологических биотехнологий

Таблица 13

Травы и травянистые растения:
Житняк ( <i>Agropyron smithii</i> )
Бородач Жерара ( <i>Andropogon gerardii</i> )
Бутелуа короткопонилая ( <i>Bouteloua curtipendula</i> )
Репа ( <i>Brassica rapa</i> )
Бухлоэ ежевидное ( <i>Buchloe dactyloides</i> )
Свиной пальчатый ( <i>Cynodon dactylon</i> )
Эхинацея пурпурная ( <i>Echinacea purpurea</i> )
Пырейник канадский ( <i>Elymus canadensis</i> )
Овсяница тростниковая ( <i>Festuca arundinacea</i> )
Подсолнечник ( <i>Helianthus annuus</i> )
Плевел многоцветковый или райграсс итальянский, или райграсс многоукосный ( <i>Lolium multiflorum</i> )
Плевел многолетний или английский райграсс, или пастбищный райграсс ( <i>Lolium perenne</i> )
Лядвенец рогатый ( <i>Lotus corniculatus</i> )
Люцерна ( <i>Medicago sativa</i> )
Просо прутьевидное ( <i>Panicum virgatum</i> )
Рожь посевная ( <i>Secale cereale</i> )
Золотарник ( <i>Coldenrods</i> )
Сорго двуцветное ( <i>Sorghum bicolor</i> )
Суданская трава (гибрид) ( <i>Sorghum × drummondii</i> )
Древесные растения:
Береза черная, или речная ( <i>Betula nigra</i> )
Дикориния гвианская ( <i>Dicorynia guianensis</i> )
Еперуа ( <i>Eperua falcata</i> )
Эвкалипт камальдульский или клубовидный ( <i>Eucalyptus camaldulensis</i> )
Шелковица красная ( <i>Morus rubra</i> )
Сосна ладанная ( <i>Pinus taeda</i> )
Тополь ( <i>Populus sp.</i> )
Тополь дельтовидный ( <i>Populus deltoides</i> )
Дуб виргинский ( <i>Quercus virginiana</i> )
Ива белая или ветла ( <i>Salix alba</i> )
Болотный кипарис ( <i>Taxodium distichum</i> )
Водно-болотные растения:
Осока ( <i>Carex comosa</i> )
Осока зелененькая ( <i>Carex viridula</i> )
Пельтандра виргинская ( <i>Peltandra virginica</i> )
Канаречник тростниковидный ( <i>Phalaris arundinacea</i> )
Камыш ( <i>Scirpus sp.</i> )
Камыш болотный ( <i>Scirpus lacutus</i> )
Камыш речной ( <i>Scirpus fluviatilis</i> )
Спартина гребешковая ( <i>Spartina pectinata</i> )
Рогоз (гибрид) ( <i>Typha × glauca</i> )

Если ко всем перечисленным выше генетически детерминированным детоксикационным способностям растений добавить многие другие уникальные, жизненно важные функции этих организмов, становится ясным, что растения – особая, очень важная составная часть живого мира, во многом определяющая его существование [31,115].

Дальнейшее развитие промышленности, несомненно, связанное с повышением токсического загрязнения, должно быть нормализовано технологиями, базирующимися на дружественных *Ворлдбиому* принципах. Потенциал самообновления планеты, основанный на существующей на сегодня естественной активности почвенной (ризосферной) микрофлоры и растений, не в состоянии обеспечить деятельность *Homo consúmens*. С точки зрения экологической безопасности очень недалекого будущего планеты следует учитывать, что потенциал созданных и ныне создаваемых инновационных экологических технологий, как правило, имеет локальный характер.

Большой интерес представляет потенциал возобновления жизненно важных естественных ресурсов и их сопоставимость с экологической безопасностью на основе требуемых обществу потребностей. Рассуждая о возобновляемых природных ресурсах, в обязательном порядке следует отметить, что основной движущей силой этого процесса являются солнечная энергия и процесс фотосинтеза, обеспечивающие весь живой, в том числе и растительный мир, соответствующими энергетическими и питательными ресурсами. В масштабе всей планеты ежегодная возобновляемость одного из основных фотосинтетических природных ресурсов – целлюлозы – пока еще составляет приблизительно 120 млрд тонн в год. Это при условии, что ежегодно путем фотосинтеза осуществляется фиксация 170-180 млрд тонн углерода. Целлюлоза, несомненно, является самым масштабным субстратом на планете и благодаря важным технологическим характеристикам находит широкое применение в разных отраслях промышленности. Согласно вышеприведенным расчетам, несмотря на не совсем благожелательное отношение общества к растительному покрову, на каждого жителя планеты пока все еще приходится 25 тонн ежегодно фотосинтетически возобновляемой целлюлозы в год. Хватит ли этого объема, хотя бы на ближайшие 15-20 лет, для обеспечения минимальных потребностей общества, является, несомненно, очень важной проблемой, требующей всестороннего анализа.

Следует отметить, что наиболее активное развитие и, соответственно, формирование технологической науки как отдельной научно-практической отрасли началось примерно 150-200 лет тому назад, в условиях, когда население составляло 1-1,5 млрд человек, во время благополучного экологического состояния планеты и наличия крупных запасов природных ископаемых. В то время мало кого беспокоили расчеты, связанные с распределением количества возобновляемого сырья на душу населения. Крупные залежи невозобновляемого сырья: нефтепродуктов, каменного угля, торфа, сланцев и других энергетических ресурсов, при практически полном экологическом благополучии, придавали технологическим процессам совершенно другую направленность. Реально существующее экологическое состояние планеты, за очень редким исключением, не вызывало никаких опасений.

В настоящее время ситуация принципиально изменилась: в условиях крайне сложной экологической обстановки, вполне обозримого по времени истощения природных энергетических ресурсов, катастрофического уменьшения планетарных ресурсов питьевой воды, непрогнозируемого увеличения населения планеты (на сегодня уже 8 млрд человек), возобновляемым (энергетическим и пищевым) ресурсам уделяется особенно пристальное внимание.

Изменились подход и требования к самим технологиям. С экологической точки зрения крайне важно внедрять наукоемкие, дружественные природе технологии, не требующие больших энергетических затрат. Несомненно, что создание генмодифицированных организмов представляет собой вынужденное мероприятие, целью которого является обеспечение прогрессивно растущего населения планеты пищей, энергией и приемлемой экологической обстановкой.

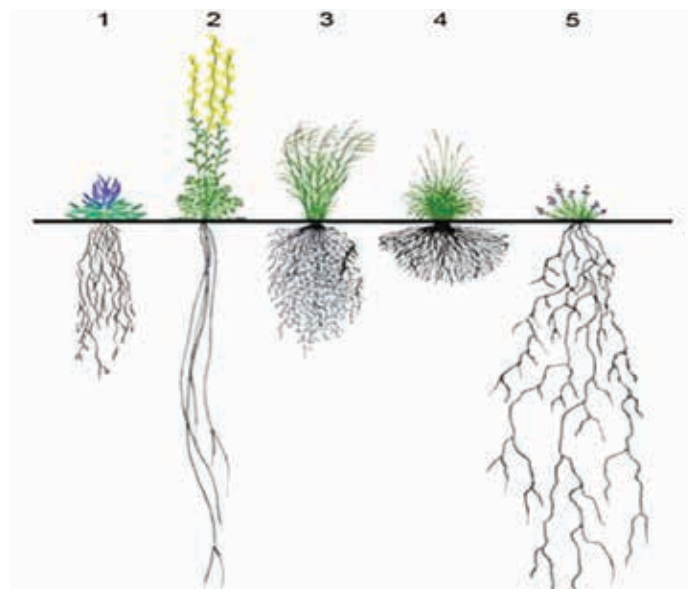
Что касается генной инженерии, как научного практического направления и все еще стоящего под большим вопросом целесообразности массового использования продуктов генмодифицированных организмов в пищу, может статься, что для экологических целей, в частности очистки окружающей среды от токсичных соединений, использование высокоактивных генмодифицированных форм растений и микроорганизмов окажется в ряде случаев приемлемым. В данном случае речь может идти об их использовании как эффективным и крайне вынужденном мероприятии в регионах, загрязненных особенно высокими концентрациями стабильных, техногенных соединений, не поддающихся ремедиации обычными экотехнологиями.

**Способность растений осуществлять деградацию нехарактерных природе, в том числе токсичных соединений, взятая за основу концептуального подхода, превратилась в первую, экологически инновационную биотехнологию глобального характера [63,112,72,89].**

Разные экологические фитотехнологии, такие как: фитоэкстракция, ризодеградация, фитодегградация, фитостабилизация, ризофилтрация и другие, уже используются в практических целях. Важным фактором, определяющим успешную реализацию этих технологий, является широкий набор и, в частности, наличие растений (предварительно селективно подобранных), активно ассимилирующих (деградирующих) нехарактерные для воздуха и почвы соединения токсичной природы. Возможности этих технологий по своей масштабности значительно превосходят все известные экологические технологии, в основном имеющие локальный, или в лучшем случае региональный характер. Уникальную детоксикационную способность растений обуславливает их долговременная адаптационная приспособленность к неестественным почвенным компонентам. Особенно эта способность проявляется в характерных для растений почвенно-климатических условиях. Важными характеристиками растений являются: хорошо развитая корневая система, способность накапливать обильную биомассу и обладать солидным внутриклеточным объемом, наличием соответствующих физиологических характеристик (способность к транспирации), соответствующих ферментных систем (рисунок 12). В основном эти и, несомненно, некоторые другие свойства обуславливают способность растений осуществлять деградацию органических токсикантов и поглощение тяжелых металлов и радионуклидов.

Клонированием генов создан ряд растений-трансформантов, обладающих повышенной способностью аккумулировать во внутриклеточных структурах (преимущественно в вакуолях) и в межклеточном пространстве конъюгаты эндогенных соединений с токсикантами и промежуточными продуктами их биотрансформации, с их последующей частичной или полной деградацией (минерализацией). Это, безусловно, обнадеживающие результаты, нуждающиеся в дальнейшем продолжении генно-инженерных исследований.

Более двух десятков лет широко обсуждается возможность использования растений для масштабной очистки почв, грунтов, грунтовых вод и водоемов от неорганических токсикантов и других ксенобиотиков.



- 1- Аморфа седоватая (*Amorpha canescens*); 2 - Сильфиум (*Silphium laciniatum*);  
 3 - Ковыль спартеа (*Hesperostipa spartea*); 4 - Келерия гребенчатая (*Koeleria cristata*);  
 5 - Лиатрис (*Liatris cylindracea*)

**Рис.12. Корневая система некоторых травянистых растений**  
*(в едином измерении)*

Судя по достигнутым результатам, несомненно, фитоэкстракция тяжелых металлов и деградация токсичных органических соединений в условиях *in situ* является наиболее дешевой, дружественной природе, не требующей никаких критических условий, связанных со структурой почвы, технологией. В литературе описаны и растения-трансформанты, характеризующиеся четко выраженной повышенной фитоэкстракционной и фитодеградационной способностью [109,117,118].

Генно-инженерные работы, направленные на повышение эффективности фиторемедиационных свойств растений, довольно интенсивно проводились в течение последних 30 лет. В основном они осуществлялись в парниковых условиях, на небольших экологически контролируемых участках. Первые широкомасштабные полевые исследования были проведены в начале 2000 года в США. Наиболее значимые работы по получению рекомбинантных растений, а их уже накопилось несколько сотен, осуществлялись по причине разных экологических проблем [109,117,118].

Среди большого разнообразия растений, перспективных для фиторемедиации, особое внимание заслуживает семейство тополя (*Populus*), в силу мощной корневой системы обладающего большой поглощающей способностью. Разно-

бразные варианты генетических модификаций этого растения убеждают в целесообразности практического использования ряда полученных трансформантов.

В обзоре, посвященном клонированию гена цитохрома P450 в разные растения, обсуждаются трансгенные растения с высокой резистентностью к действию гербицидов и повышенной детоксикационной способностью. По мнению авторов, дублирование гена цитохрома P450 в растениях, не содержащих этого фермента, может повысить их резистентность против действия гербицидов [31,117,118].

Глутатион S-трансфераза является широко распространенным в растениях ферментом, который принимает участие как в нормальных метаболических процессах растительной клетки, так и в защите растений от стрессовых ситуаций. Довольно часто при создании трансгенных растений для фиторемедиации основной мишенью для трансформации в другие растения является ген именно этого фермента.

В ряде работ трансгенные растения изучались применительно к определенным почвенно-климатическим условиям и к конкретным токсикантам. Большое внимание уделялось биологическим способам удаления из почвы тринитротолуола (ТНТ) и продуктов его частичной трансформации, одного из самых распространенных токсичных взрывчатых соединений [119]. Трансгенные растения, осуществляя отщепление нитрогрупп и дальнейшую трансформацию углеродного скелета этого токсиканта, удаляют и промежуточные метаболиты ТНТ намного быстрее, чем обычные формы тех же растений, рост которых значительно ингибировался на средах с ТНТ [64,109,124].

Трансгенный табак существенно отличался от обычного растения, как толерантностью, так и способностью быстро усваивать и ассимилировать значительное количество ТНТ. Аналогичные данные, связанные с повышением способности трансгенных растений ассимилировать взрывчатые вещества из почвы путем клонирования в них бактериальной нитроредуктазы, продемонстрированы и в других работах.

Если попытаться представить, каким должно быть идеальное с экологической точки зрения растение, то, очевидно, картина выглядела бы следующим образом. Растение, обладая длинной, хорошо развитой корневой системой и сильным транспирационным током, должно интенсивно накапливать биомассу, которая должна характеризоваться определенной толерантностью по отношению к

органическим и неорганическим токсичным соединениям и обладать высокой активностью ферментов, участвующих в процессах детоксикации токсикантов.

Кроме того, такое растение в обязательном порядке должно образовывать конъюгаты, химически связывать органические токсиканты с внутриклеточными метаболитами и обладать соответствующим потенциалом (емкостью) для складирования конъюгатов и тяжелых металлов в клеточных структурах и апопласте [120]. Растение должно располагать мощной окислительной системой ферментов, способных за счет биологического окисления осуществлять превращения органических токсикантов и их промежуточных метаболитов, вне зависимости от их структуры. Вот те основные требования, которые на сегодня предъявляют теория и практика по отношению к растениям, предназначенным для фиторемедиации.

В случае неорганических токсикантов складывается несколько иная картина. Неполная информация, касающаяся молекулярных механизмов обеспечения толерантности растений по отношению к тяжелым металлам, или отсутствие данных, указывающих на факторы, ответственные за их внутриклеточное накопление, создает вполне определенную сложность генетической модификации растений, направленной на повышение их детоксикационной активности [109,117,118].

Описаны случаи получения трансгенных растений, характеризующихся повышенной толерантностью по отношению к кадмию и свинцу (концентрации в среде 70-75 мМ), что, безусловно, говорит об их гипераккумуляционных способностях. Кроме того, важным фактом являются данные, указывающие на удвоение содержания меди в трансгенных растениях.

Как показывает даже беглый обзор генно-инженерных работ, в ряде случаев в трансгенных растениях отмечается существенное повышение детоксикационных способностей. Об этом свидетельствует тот факт, что некоторые трансгенные растения отличаются повышенной способностью ассимиляции органических токсичных соединений и способностью поглощения тяжелых металлов. Если бы все аспекты довольно сложного с точки зрения биохимических превращений детоксикационного процесса были бы исследованы более глубоко и всесторонне, то это позволило бы создать более рациональную стратегию проведения генно-инженерных исследований, имеющих важный прикладной экологический характер.

Несомненно, настала пора со всей серьезностью отнестись к детоксикационной способности растений и, исходя из все еще широкого распространения



растительного покрова нашей планеты, активно использовать эти уникальные организмы в практических целях как постоянно действующий, важнейший биологический инструмент, обладающий колоссальным экологическим потенциалом.

Следует отметить, что микроорганизмы и растения, как в отдельности, так и совместно, принимают весьма деятельное участие в круговороте органических и элементоорганических токсичных соединений в природе [121]. В частности, эти организмы осуществляют деградацию чужеродных соединений, а входящие в их состав атомы углерода используют для синтеза характерных клеточных метаболитов. Получается что-то наподобие природного фильтра, который не только очищает окружающую среду, но по принципу малоотходной технологии использует углеродный скелет токсичных соединений как основу для синтеза обычных клеточных метаболитов (соединений). Несмотря на биохимическую сложность процесса, налицо безусловно экологически безопасный детоксикационный процесс, в котором участвуют ризосферные микроорганизмы и растения, являясь глобальными технологическими агентами и повсеместно осуществляя деградацию нехарактерных для экосистем токсичных соединений.

В таблице 14 представлен перечень растений, которые способны ассимилировать из воздуха наземными органами (в основном, листьями) такие стабильные высокотоксичные, канцерогенные соединения, как бензол и толуол. Данные таблицы 14 однозначно указывают на большой фиторемедиационный потенциал некоторых растений, заключающийся в их способности ассимилировать токсичные и чужеродные соединения не только из почвы, но и из воздуха.

Помимо экологической и биологической безопасности (сохранение почвенной структуры и микрофлоры), важным преимуществом экологических фитотехнологий является относительно низкая стоимость процесса, которая в данном случае значительно дешевле других известных, традиционно используемых экологических технологий (таблица 15) [63,89].

Экологические фитотехнологии, которые являются более длительными по времени в сравнении с микробными биотехнологиями, позволяют очищать, как плодородный слой, грунт, водоемы, так и воздух от нехарактерных контаминантов-ксенобиотиков [63,12,114].

## Способность наземных органов растений (листьев) поглощать атмосферный бензол и толуол

Таблица 14

1	2	3
Растения	Количество поглощенных ароматических углеводородов на 1 кг свежих листьев за 24 ч	Растения
1	2	3
Сильные поглотители	1.0-10.0 мг	<p>Клен (<i>Acer campestre</i>)</p> <p>Олеастр (<i>Elaeagnus angustifolia</i>)</p> <p>Белая акация или робиния лжеакация (<i>Robinia pseudoacacia</i>)</p> <p>Дикая груша (<i>Pyrus caucasica</i>)</p> <p>Грецкий орех (<i>Juglans regia</i>)</p> <p>Миндальное дерево (<i>Amygdalus communis</i>)</p> <p>Черешня (<i>Cerasus avium</i>)</p> <p>Аморфа (<i>Amorpha fruticosa</i>)</p> <p>Вишня (<i>Cerasus vulgaris</i>)</p> <p>Каштан (<i>Castanea sativa</i>)</p> <p>Яблоня (<i>Malus domestica</i>)</p> <p>Дзельква (<i>Zelkova carpinifolia</i>)</p> <p>Тополь (<i>Populus canadensis</i>)</p> <p>Райграс многолетний (<i>Lolium perenne</i>)</p> <p>Сирень (<i>Siringa vulgaris</i>)</p> <p>Плакучая ива (<i>Salix</i>)</p> <p>Катальпа (<i>Catalpa bignonioides</i>)</p> <p>Софора японская (<i>Sophora japonica</i>)</p>
Средние поглотители	0.1-1.0 мг	<p>Ольха (<i>Alnus barbata</i>)</p> <p>Осина (<i>Populus tremula</i>)</p> <p>Вяз (<i>Ulmus foliacea</i>)</p> <p>Ясень (<i>Fraxinus excelsior</i>)</p> <p>Чайное растение (<i>Camellia sinensis</i>)</p> <p>Хурма восточная (<i>Diospyros kaki</i>)</p> <p>Лавр благородный (<i>Laurus nobilis</i>)</p> <p>Гледичия обыкновенная (<i>Gleditsia triacanthos</i>)</p> <p>Фасоль обыкновенная (<i>Phaseolus vulgaris</i>)</p> <p>Сосна (<i>Pinus</i>)</p> <p>Сосна эльдарская (<i>Pinus eldarica</i>)</p> <p>Туя (<i>Thuja</i>)</p> <p>Абрикос (<i>Prunus armeniaca</i>)</p> <p>Виноградная лоза (<i>Vitis vinifera</i>)</p>
Слабые поглотители	0.001-0.1 мг	<p>Пихта (<i>Picea abies</i>)</p> <p>Шелковица (<i>Morus alba</i>)</p> <p>Липа (<i>Tilia caucasica</i>)</p> <p>Тростник (<i>Phragmites communis</i>)</p> <p>Кукуруза (<i>Zea mays</i>)</p> <p>Дикая слива (<i>Prunus divaricata</i>)</p> <p>Киви (<i>Apteryx australis germanica</i>)</p> <p>Роза (<i>Rosa</i>)</p> <p>Платан (<i>Platanus</i>)</p> <p>Кипарис (<i>Cupressus sempervirens var. Pyramidalis</i>)</p> <p>Герань (<i>Pelargonium Roseum</i>)</p> <p>Бирючина (<i>Ligustrum vulgare</i>)</p> <p>Инжир (<i>Ficus carica</i>)</p> <p>Гранат (<i>Punica granatum</i>)</p> <p>Рододендрон (<i>Rhododendron ponticum</i>)</p> <p>Персиковое дерево (<i>Persica vulgaris</i>)</p> <p>Картофель (<i>Solanum tuberosum</i>)</p> <p>Помидор (<i>Lycopersicon esculentum</i>)</p> <p>Ива белая (<i>Salix alba</i>)</p> <p>Слива (<i>Prunus vachuschtii</i>)</p>

## Стоимость инновационных и традиционных фиторемедиационных технологий

Таблица 15

Загрязнение	Фиторемедиация		Традиционная технология		Прогнозируемая экономия
	Способ использования	Стоимость	Способ использования	Стоимость	
1	2	3	4	5	6
Свинец и почва (1 акр)	Экстракция, сбор и удаление	\$150,000-250,000	Земляные работы, удаление на свалку	\$500,000	50-65%
Растворители в грунтовых водах (2,5 акр)	Деградация и гидравлический контроль	\$200,000 на установку и начальное обслуживание	Откачивание и обработка	\$700,000 ежегодный эксплуатационный расход	50% экономия затрат к третьему году
Углеводороды нефти в почве (1 акр)	Деградация <i>in situ</i>	\$50,000-100,000	Земляные работы, выжигание	\$500,000	80%

С другой стороны, использование ряда распространенных сегодня химических экологических технологий, несмотря на их определенную эффективность, не полностью соответствует качественным требованиям почвы. Большинство этих технологий являются губительными для почвенной микрофлоры. Для восстановления нормальной деятельности ризосферных микроорганизмов после использования этих технологий и достижения полноценной урожайности требуются годы.

Растения, в зависимости от структуры токсиканта, значения кислотности среды, наличия влаги, соответствующих ферментов и других факторов, полностью или частично обезвреживают токсичные соединения, поступившие из окружающей среды [31,108].

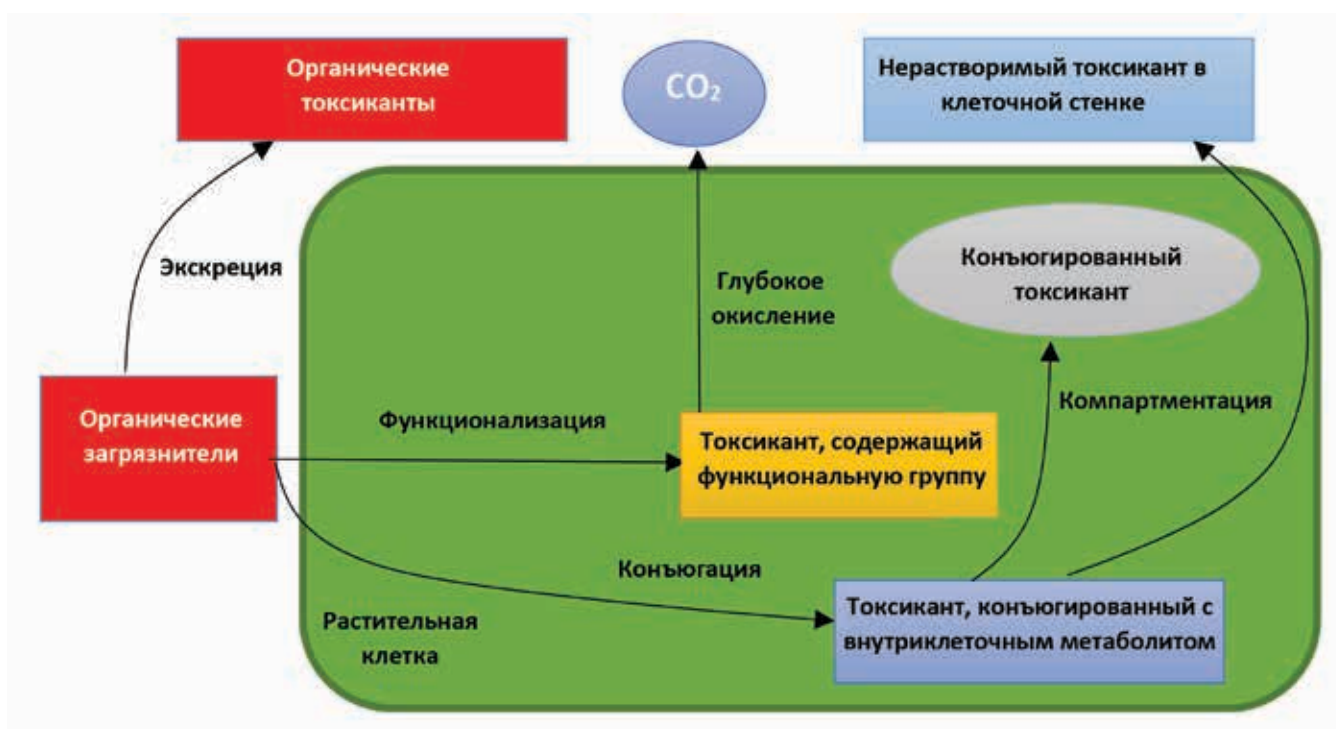
Именно благодаря этим свойствам и были разработаны такие концепции, как «Зеленый фильтр» или «Зеленая печень», являющиеся теоретической основой для промышленных экологических технологий, применяемых для удаления или значительного снижения токсичного эффекта чужеродных соединений на окружающую среду.

Для растений самым простым способом избежать негативного действия токсичных соединений является процесс экскреции (рисунок 13), сущность которого заключается в том, что молекулы токсиканта без всяких внутриклеточных метаболических превращений передвигаются по апопласту и таким путем выводятся из растения. Такой путь элиминации токсиканта, хотя и является наиболее простым, имеет место лишь при очень высоких концентрациях высокоподвиж-

ных (флоромобильных или амбимобильных) токсикантов. С экологической точки зрения серьезным недостатком процесса экскреции является то, что токсикант не подвергается химическим превращениям, поэтому полностью сохраняет химическую структуру и, следовательно, токсичные свойства.

Однако, как показано на рисунке 13, чаще всего ксенобиотики проникают в клетки и подвергаются ферментативным превращениям, приводящим к уменьшению степени их токсичности. В настоящее время определены три последовательные фазы трансформации, которым подвергаются токсичные соединения в растительной клетке.

**I фаза.** Функционализация – это процесс, когда молекула гидрофобного органического ксенобиотика за счет ферментативных превращений (окисление, восстановление, гидролиз и т.д.) приобретает гидрофильную функциональную группу (гидроксильную, аминную, карбоксильную и т.д.). В результате функционализации полярность и реакционная способность молекул токсиканта значительно повышаются. В ряде случаев за этим следует полная окислительная деградация токсиканта до стандартных клеточных метаболитов и, в конечном счете, до CO<sub>2</sub> и воды. Этим путем растительная клетка не только полностью обезвреживает токсичность чужеродных соединений, но и использует их углеродные атомы для собственных пластических и синтетических потребностей.



**Рис. 13.** Механизмы превращения чужеродных соединений в растительной клетке

Совокупность таких превращений и составляет сущность растительных детоксикационных процессов. Однако полная детоксикация ксенобиотиков в растительной клетке осуществляется только при низких, метаболически трансформируемых концентрациях токсикантов. Для этого требуется определенное время, причем в некоторых случаях процесс может продолжаться несколько суток. При высоких концентрациях полной минерализации токсиканта не достигается, и его удельная часть, то есть полная деградация, может составить максимум до 20% от всего находящегося в клетке токсиканта. Остальная часть проникших в клетку токсичных соединений подвергается конъюгации.

**II фаза.** Конъюгация – это процесс, в ходе которого образуется химическая связь проникших в клетку соединений (чужеродных клетке) с эндогенными веществами клетки (белками, пептидами, аминокислотами, органическими кислотами, углеводами, полисахаридами, пектиновыми веществами, лигнином и т.д.) за счет образования пептидных, эфирных, сложноэфирных и других связей ковалентной природы. Образование конъюгатов приводит к значительному возрастанию гидрофильности органического токсиканта, следовательно, повышению его подвижности и реакционной способности, а также понижению характерной токсичности. Такие превращения облегчают процессы дальнейшей компартментации токсичных соединений.

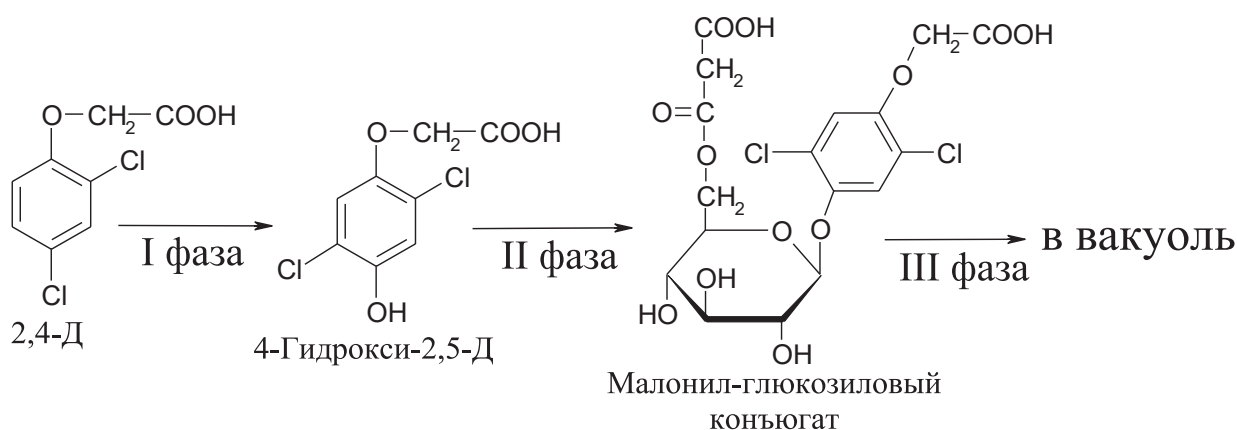
Несмотря на то, что конъюгация является одним из наиболее распространенных средств самозащиты растений против действия токсичных соединений, нельзя утверждать, что этот процесс является энергетически и физиологически выгодным для растений. При конъюгации происходит расходование функционально важных для клетки соединений (клеточных метаболитов), что при высокой концентрации токсиканта приводит к их некоторому дефициту. Это снижает устойчивость растений к воздействию других неблагоприятных факторов, в том числе и условий внешней среды, то есть понижает иммунную систему растений. В отличие от глубокой деградации, конъюгация не приводит к полному обезвреживанию ксенобиотика, который, сохраняя основную структуру молекулы (например, ароматическое кольцо), лишь частично и временно теряет или понижает характерную токсичность. По данным авторов, при перенесении растений со среды с токсикантом, как индуктором, на питательную среду, не содержащую токсичных соединений, происходит постепенная минерализация остатков токсиканта. Этот процесс характерен для подавляющего большинства растений, используемых в экологических фитотехнологиях [120].

Растения, «поглотившие» токсиканты, становятся их носителями, так как большая часть токсикантов (обычно 50-70%, и даже больше) накапливается в растениях в виде конъюгатов. Это, безусловно, следует учитывать при использовании растений в фитотехнологиях. Конъюгаты токсичных веществ особо опасны при попадании в пищевую цепь, так как ферменты пищеварительного тракта теплокровных организмов способны деградировать конъюгаты и, таким образом, высвободить токсиканты или продукты их частичного превращения. Поэтому крайне важно, чтобы применяемые в фиторемедиации растения обладали по возможности максимально мощными ферментными системами (преимущественно окислительными), осуществляющими глубокую деградацию токсикантов.

**III фаза.** Компарментация – это в большинстве случаев конечный этап «складирования» токсичных веществ в определенных клеточных структурах. Обычно растворимые конъюгаты аккумулируются в вакуолях, а нерастворимые конъюгаты с пектином, лигнином, гемицеллюлозой и другими клеточными полимерами выносятся из клетки экзоцитозным процессом и/или накапливаются в клеточной стенке.

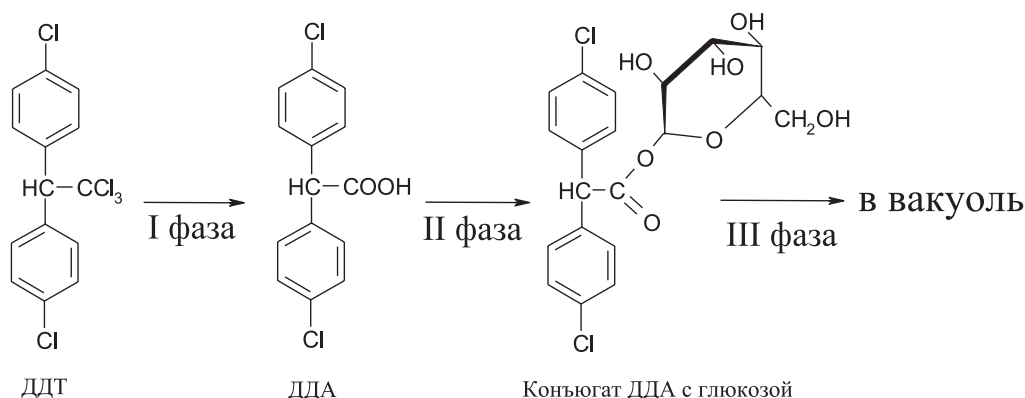
Вышеприведенный путь утилизации токсичных соединений (**функционализация → конъюгация → компарментация**) хорошо прослеживается на примере представителей хлорорганических пестицидов. Ниже представлены некоторые примеры последовательных превращений токсикантов в растениях.

Гербицид 2,4-Д после гидроксирования образует конъюгат с глюкозой и остатком малонила, после чего подвергается вакуолизации (рисунок 14).



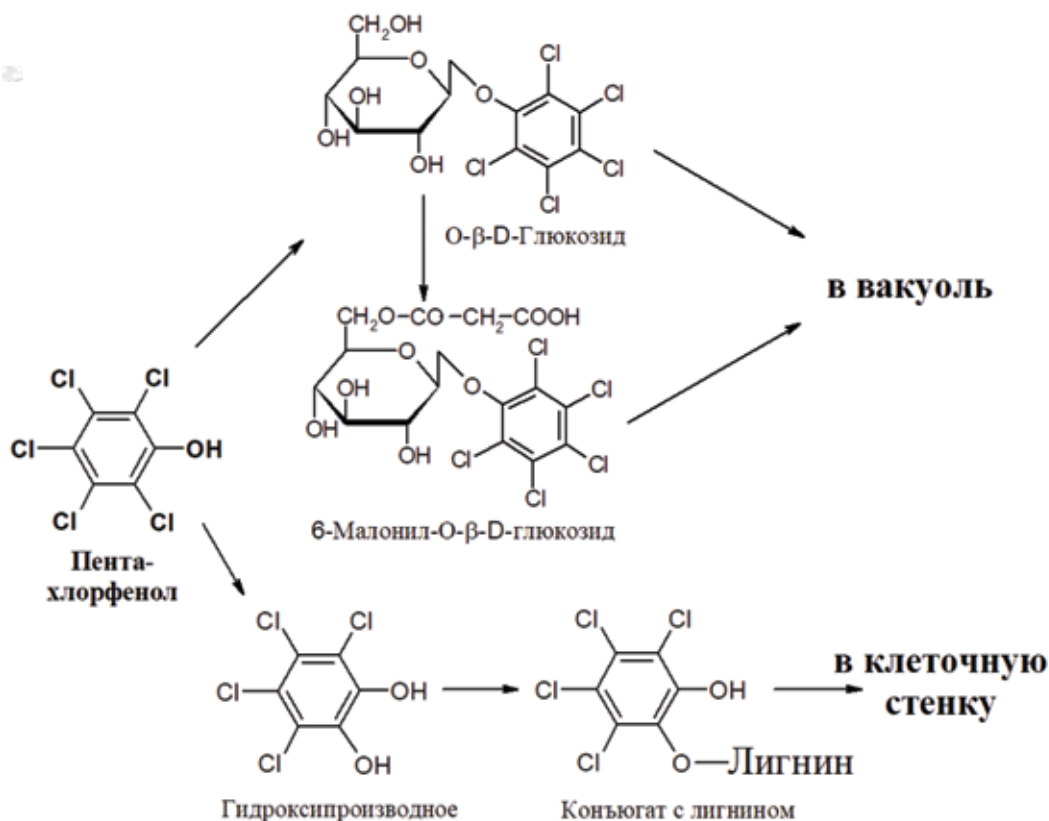
**Рис. 14.** Механизм трансформации 2,4-Д в растительной клетке

Инсектицид ДДТ в результате первичных окислительных реакций приобретает карбоксильную группу (превращается в ДДА), которая легко образует сложный эфир с глюкозой и также складировается в вакуолях (рисунок 15):



**Рис. 15.** Трансформация ДДТ в растительной клетке

Биоцид 2,3,4,5,6-пентахлорфенол непосредственно образует растворимые конъюгаты в форме  $\beta$ -D-глюкозида и O-малонил- $\beta$ -D-глюкозида, которые перемещаются в вакуолях. В случае гидроксилирования пентахлорфенол обретает вторую гидроксильную группу, и этот промежуточный продукт может связываться с лигнином, образуя нерастворимый конъюгат, который затем встраивается в клеточную стенку (рисунок 16).



**Рис.16.** Трансформация 2,3,4,5,6-пентахлорфенола в растительной клетке

Химические реакции, протекающие на протяжении всех трех фаз детоксикации ксенобиотиков (функционализация, конъюгация и компартиментализация), основаны на ферментативных превращениях [109,117,122,123]. Эти ферменты при отсутствии токсикантов участвуют в характерных физиологических процессах и, являясь типичными клеточными компонентами, участвуют в нормальном обмене веществ в растительной клетке.

В начальных реакциях химической модификации токсичных соединений в растениях участвуют следующие ферменты:

- оксидазы, катализирующие гидроксилирование, деметилирование и другие окислительные реакции: цитохром Р450-содержащие монооксигеназы, пероксидазы, фенолоксидазы, аскорбатоксидазы, каталазы и т.д.;
- редуктазы, катализирующие восстановление нитрогрупп (нитроредуктазы);
- дегалогеназы, отщепляющие атомы галогенов от полигалогенированных токсичных соединений;
- эстеразы, гидролизующие эфирные связи в пестицидах и других токсичных соединениях.

Процессы второй фазы детоксикации основаны на реакциях конъюгации токсикантов (глутатиона S-трансферазой, глюкуронозилтрансферазы и других). Компартиментация конъюгатов происходит с участием АТФ-связывающих кассетных транспортеров (АКТ). В зависимости от структуры ксенобиотиков другие ферменты могут также участвовать на различных этапах внутриклеточного окисления токсичных веществ. Например, локализованные в вакуолях конъюгаты с глутатионом под действием пептидаз легко преобразовываются в конъюгаты с цистеином. В длительном процессе глубокого окисления токсичных веществ также участвуют ферменты пластического, энергетического и азотного обменов, снабжая растительную клетку дополнительной энергией и азотсодержащими метаболитами.

Несмотря на широкий спектр действия, растения не отличаются универсальной детоксикационной способностью [72,89]. Так, например, они не способны ассимилировать диоксины, хлорорганические соединения и некоторые другие структурно стабильные токсиканты. Несмотря на это, по существующим представлениям, они являются детоксификаторами исключительно широкого распространения и спектра действия.



**Микроорганизмы**, представители разных таксономических групп, как технологические агенты, деградирующие токсичные соединения очень широкого спектра, хорошо и всесторонне изучены [23,24,25]. Первые данные систематических исследований, посвященных процессам детоксикации, осуществляемой микроорганизмами, появились лет 40 назад. Способность быстрого доминантного размножения почвенных, ризосферных микроорганизмов, безусловно, является одним из важнейших факторов, обеспечивающих урожайность и экологическую защищенность почвы от возможного наличия токсичных соединений в сельскохозяйственных продуктах. По существующим данным, в среднем 1 грамм нормальной сухой биомассы почвы содержит 108 клеток бактерий, 106 актиномицетов и 105 спор мицелиальных грибов. Ниоим образом не возводя это в абсолютную закономерность, следует отметить, что, по данным авторов, довольно часто в нормальных черноземных почвах количество актинобактерий на три порядка ниже, а мицелиальных грибов – на два порядка выше. В зависимости от типа почв и других агроусловий содержание микроорганизмов отдельных таксономических групп в разных количествах вполне допустимый фактор. В любом случае количество бактерий (прокариот) преобладает, хотя также в большом количестве представлены микроорганизмы других таксономических групп (мицелиальные грибы, в меньшей степени актиномицеты), что в значительной степени определяет, как отсутствие токсических соединений, так и плодородие почв.

Исходя из колоссального количества публикаций, посвященных микробной детоксикации, однозначно следует отметить, что микроорганизмам отводится особенно важная роль в протекающих в почве процессах, связанных с очисткой почв практически всех типов. Почвенная микрофлора, наряду с другими важнейшими свойствами, обладая солидным деградационным потенциалом, совместно с корневой системой растений является основным фактором процесса естественной очистки почв, деградации и трансформации токсичных и других не характерных для почвы соединений в нормальные клеточные метаболиты, в ряде случаев осуществляя их минерализацию.

Базируясь на хорошо известных данных о способности микроорганизмов осуществлять деградацию, вплоть до минерализации большого количества природных и антропогенных токсических соединений, 30 лет назад авторы данной монографии начали поиск активных штаммов бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов, способных усваивать и метаболически деградировать неха-

раактерные для природы соединения. С этой целью была создана коллекция микроорганизмов всех таксономических групп, насчитывающая до 4 тысяч штаммов, выделенных из обычных и разных почвенно-климатических и зараженных токсичными соединениями регионов и участков, в частности: мест дислокации военных полигонов и стрельбищ, вблизи от химических и металлургических заводов, аэродромов, вдоль шоссе с интенсивным движением, бывших и действующих нефтяных промыслов, теплоэлектростанций и других объектов с вероятным содержанием в почве токсичных соединений. Было установлено, что, несмотря на принадлежность к одному виду и роду, выделенные из разных объектов штаммы микроорганизмов, существенно различаются рядом физиологических и биохимических показателей, в том числе, способностью осуществлять деградацию токсичных соединений. В коллекции присутствует несколько сот экстремофильных микроорганизмов (галофилы, термофилы, алкалофилы, ацидофилы, психрофилы), осуществляющих экологическую функцию в экстремальных условиях. Для этой цели специально были выбраны объекты с возможным содержанием токсичных соединений, как, например, близлежащие территории химических, металлургических и других заводов. Это позволило отобрать технологически наиболее активные штаммы, осуществляющие деградацию нехарактерных для природы соединений широкого спектра практически в любых условиях. В подавляющем большинстве случаев полученные результаты подтвердили существующее мнение о характерной для микроорганизмов активности, направленной на утилизацию неестественных компонентов в почве и водных ресурсах. В результате выявлены высокотехнологичные штаммы бактерий и мицелиальных грибов. Проведенные с коллекциями микроорганизмов исследования и анализ солидного количества публикаций и патентов убедили в главенствующей роли микроорганизмов в осуществлении круговорота атомов углерода, даже на основе токсичных соединений.

Бактерии, являясь самыми распространенными и морфологически наиболее простыми одноклеточными организмами-прокариотами, населяют весь мир, все экологические ниши и почти все существующие организмы. Их технологическая ценность заключается в сравнительно простой структурной организации и, соответственно, легкой адаптируемости к разным экологическим условиям. Основной причиной повсеместного распространения бактерий является очень высокая репродуктивная способность в считанные минуты количественно удваи-

ваться практически во всех, даже экстремальных условиях. Используя для роста (накопления бактериальной биомассы) практически все природные соединения углерода, за исключением лигнина и целлюлозы, аэробные формы бактерий характеризуются исключительно широким набором гидролитических, трансформационных, синтетических возможностей (ферментными системами), что придает им универсальный характер действия на подавляющее большинство естественных и широкий спектр техногенных соединений.

С целью исследования экологического потенциала адаптированных к разным условиям существования бактерий, разнообразием которых богаты сравнительно молодые почвенные зоны Кавказского региона, с 1970 года создавалась коллекция бактерий, в основном состоящая из представителей следующих родов: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Mycobacterium*, *Nocardia*. В монографии использованы литературные данные, касающиеся бактерий-детоксификаторов. Анализ отдельных видов и родов бактериальных штаммов как экологических агентов осуществлялся по их способности разлагать основной скелет токсичных соединений разных структур до физиологически безопасных метаболитов или осуществлять их минерализацию. При селекции штаммов бактерий-деструкторов толуола исследования проводились в основном с культурами доминантных почвенных форм бактерий: *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Bacillus*. Штаммы отбирались по их способности использовать толуол как источник углерода, энергии и донора электронов.

По данным авторов, несмотря на низкий показатель формирующих колонии единиц ( $N \times 10^3$ ), который на среде с глюкозой был на три порядка выше, все-таки удалось выделить штаммы как культуры, интенсивно усваивающие и деградирующие толуол.

В другой серии опытов из коллекционных культур бактерий выделены бактериальные штаммы, характеризующиеся способностью осуществлять деградацию такого стабильного к природным условиям токсиканта, каким является тринитротолуол (ТНТ). Установлены возможности их использования в почве и водных резервуарах [26,27,28]. Ввиду высокой активности штаммы вполне пригодны для использования в полевых условиях. Кроме высокой ТНТ-деградирующей активности, была установлена способность некоторых бактериальных штаммов усваивать минеральные масла, используя их в качестве основного источника углерода.

Во время исследований деконтаминационного потенциала бактерий, кроме обычных мезофильных форм, возможно использование и других, экстремофиль-

ных форм микроорганизмов, которым уделяется особенное внимание [29]. Это важно для тех регионов, где в почвах содержится повышенное количество соли, они характеризуются щелочными или кислыми значениями рН и необходимо использовать такие формы микроорганизмов, которые проявляют активность в экстремальных условиях (галофилы, алкалофилы, ацидофилы).

В специальной серии опытов из коллекционного материала выделены несколько алкалофильных штаммов бактерий, имеющих оптимальные значения для роста и активности в области рН равного 8,5 и даже выше. Использование этих культур проводилось с целью деградации пентахлорфенола, имеющего обширный характер распространения. Выделены наиболее активные штаммы: *Rhodococcus* sp., *Mycobacterium* sp., *Arthrobacter* sp., *Pseudomonas* sp., характеризующиеся интенсивным ростом и способностью деградации токсикантов в щелочных условиях.

Этот список бактерий, обладающих детоксикационными свойствами, составлен на основе литературных данных и может быть значительно расширен и дополнен другими родами бактерий, разлагающих токсичные соединения разной структуры и молекулярной массы. Исключение составляют лишь очень стабильные техногенные соединения – диоксины, с большим трудом поддающиеся микробной деградации. Стабильность к действию бактерий проявляет также ряд галогенсодержащих органических соединений (например, полихлорированные бифенилы).

Специально для экологических целей создана коллекция мицелиальных грибов, содержащая штаммы представителей следующих классов аскомицетов (*Ascomycetes*), зигомицетов (*Zygomycetes*), дейтеромицетов (*Deiteromycetes*), включающая представителей следующих рядов: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Sporotrichum*, *Helmintosporium*, *Mortierella*, *Rhizopus*, *Chaetomium*, *GlaDOSporium* и др. Из коллекции отобрано более 100 штаммов наиболее активных деструкторов органических токсикантов разной структуры.

В общем, характеризуя коллекционные мицелиальные штаммы на их экологический потенциал, следует отметить, что у более 60% исследованных штаммов была выявлена способность с разной активностью (от следовой до сравнительно высокой активности) осуществлять деградацию токсичных соединений разной структуры.

Поскольку деградационная способность какого-нибудь класса токсичных соединений определяет экотехнологическую ценность микробиологических штам-

мов, то предварительное выявление активных культур, деструкторов токсичных соединений, методами их селекции является абсолютно необходимой процедурой. Как показали лабораторные и полевые исследования, в условиях поверхностного и глубинного культивирования селективно отобранные активные штаммы более чем на порядок превосходили остальные культуры по способности деградации токсикантов.

Дергадационная способность токсикантов является фактором, определяющим экологический потенциал микроорганизмов, коллекционные штаммы по специфичности своего действия разделены на отдельные группы. Так, например, среди 15 штаммов активных деструкторов взрывчатых веществ (ТНТ и гексагидро-1,3,5-триазина [RDX]) отобраны наиболее активные культуры, которые были проверены в полевых условиях и по своей активности и способности размножения соответствуют полевым требованиям. Как было установлено, все активные штаммы характеризовались высокой активностью нитроредуктазы.

Данные таблицы 16 наглядно демонстрируют способность селективно отобранных штаммов мицелиальных грибов осуществлять глубокую деградацию стабильного углеродного каркаса ТНТ и использовать освободившиеся атомы углерода для синтеза важных клеточных метаболитов.

### Продукты биотрансформации (1-<sup>14</sup>C) -ТНТ штаммами мицелиальных культур

Таблица 16

Название штамма	Процент радиоактивности метаболитов от общей исходной радиоактивности тринитротолуола	
	органические кислоты	аминокислоты
<i>Mucor</i> sp. T1-1	70,20	25,80
<i>Trichoderma</i> sp. N2-6	74,40	21,60
<i>Aspergillus niger</i> N2-2	92,80	5,10

В отдельной серии опытов изучалось действие консорциума специально отобранных штаммов микроскопических грибов с целью утилизации углеводов нефти, разлитых по поверхности моря и попавших в черноземные почвы. Как было установлено, при концентрации сырой нефти от 1 до 3% усвояемость нефтепродуктов за пять суток микробным консорциумом составила более 90%.

Экспериментально доказано, что при правильном подборе штаммов можно существенно повысить детоксикационный потенциал как в консорциумах, состо-

ящих из представителей одной таксономической группы, так и в пределах консорциумов, состоящих из штаммов мицелиальных грибов и бактерий. Участие селекционно подобранных штаммов актиномицетов, несомненно, увеличит детоксикационный потенциал **мультимикробных консорциумов**.

Примеры микробиологической (мицелиальные грибы, бактерии, реже актиномицеты) деградации поллютантов (как данные авторов, так и литературные) можно существенно продлить, однако исключительное многообразие, как токсикантов, так и родов, и видов микроорганизмов, не позволяет представить хотя бы данные одного рода или вида мицелиальных грибов по их действию даже на один класс токсичных соединений. Следует ограничиться заключением, что экспериментально оцененный потенциал деградации токсичных соединений селекционно отобранными штаммами мицелиальных культур настолько высок, что он близок к универсальной способности.

Особенно повышенный интерес вызывает совместное действие микроорганизмов и растений, направленное на деградацию токсичных соединений. Причем, как было установлено, этот процесс деградации, напоминающий двуствольное ружье, направленное на деградацию токсикантов и микробным, и растительным потенциалом, носит симбиотический характер.

Способность микроорганизмов осуществлять ремедиационные процессы окружающей среды путем глубокой деградации токсичных соединений хорошо известна. В рамках данной публикации считаем необходимым отметить, что и в проведенных авторами исследованиях эта способность была однозначно подтверждена. Исключительно важно еще раз подчеркнуть, что совместное действие растений и микроорганизмов, направленное на деградацию токсичных структур, имеет синергический характер.

Выделяя крайне важную функцию и роль биологических экологических технологий в сравнении с другими ремедиационными мероприятиями, следует отметить их отличие от любых иных, состоящее в том, что они дают возможность в глобальных масштабах осуществлять ремедиацию и мониторинг окружающей среды, в дружественных *Ворлдбиому* условиях, для любого региона планеты.

## IV. ВОЗМОЖНЫЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ РЕМЕДИАЦИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ТЕХНОЛОГИЙ)

Несомненно, в масштабе всей планеты геополитическая стабильность является фактором, определяющим возможность сосуществования народов, населяющих планету. Но вот что интересно, один из лидеров геополитических стратегий современности, профессор Збигнев Бжезинский в своей книге «Стратегическое видение. Америка и глобальный кризис» (2012), подчеркивает, что «к сожалению, ведущие государства мира только сейчас вынуждены выработать совместные пути для решения новых растущих проблем, угрожающих благосостоянию человечества. Таковыми являются экологические, климатические, социально-экономические, социальные и демократические проблемы...». Предположения и предсказания более чем десятилетней давности сегодня только еще более обострились. Известны соображения и других высокоавторитетных экспертов о том, что первоочередной задачей является не только забота о геополитической стабильности планеты, но и не менее важно создание единой, согласованной со всеми странами экологической концепции. (Профессор Университета Джонса Гопкинса Фрэнсис Фукуяма, «Конец истории», 1992).

Становится все более ясным, что экологические и геополитические проблемы все теснее переплетаются. Значительно обострившаяся во второй половине XX века экологическая ситуация на планете со временем только значительно ухудшается, что и явилось причиной высказываний и предположений вышеназванных и многих других известных экспертов по вопросам экологии и социологии. Нет ни малейших сомнений, что обеспокоенность общества, связанная с экологическими проблемами, имеет серьезную основу. Развивая эту мысль, следует отметить, что острейшие, характерные для XXI века экологические проблемы уже начали четко формироваться в виде разных гео/био/экологических фактов:

постоянное повышение концентрации токсических соединений во всех экологических нишах, нетрадиционные инфекционные заболевания, в том числе разные вирусные инфекции, нехарактерные климатические изменения, как глобальное потепление и связанное с этим таяние льдов, значительно выросшее количество аномалий среди людей и животных – это только немногочисленные, доступные обозрению и оценке примеры уже наступивших перемен, тесно связанные с повышением токсичности, радиации и уменьшением биоразнообразия планеты. Все это, безусловно, уже влияет и на сложную физиологию человека воздействиями на геном, спонтанными мутациями и отклонением от нормальной физиологии и функциональной биохимии. Какие будут в будущем масштабы этих отклонений, предсказать невозможно, хотя совершенно ясно, что большинство из них может оказаться фатальным. Несомненно, перспектива токсичной модификации *Homo sapiens* опасна и крайне нежелательна. Вместе с тем темпы ежегодного увеличения населения планеты, составляющие около 1% (до 100 миллионов в год), уже давно превратились в серьезнейшую проблему всего человечества. В связи с этим в повестке дня международных организаций со всех доступных позиций должен решаться вопрос: а что можно предпринять в качестве долгосрочной перспективы обеспечения адаптированных для популяции *Homo sapiens* жизненных условий?

Будем откровенны, перед лицом надвигающейся неизбежной экологической катастрофы и для создания для всех наций и народов единого фронта действий, с абсолютной прямоотой следует обнажить все проблемы, связанные с экологией: политические, конфессиональные, финансовые, традиционные разногласия стран и ряд других, чтобы хоть как-то найти реальные решения для продления приемлемых жизненных условий. Несомненно, минимальные, неиспользованные возможности сохранения и улучшения экологического баланса всей планеты все еще существуют. Это в первую очередь колоссальный научный потенциал, определяющий стратегию облегчения экологического стресса разными по содержанию наукоемкими инновационными технологиями, способными отодвинуть экологические катастрофы хотя бы на ближайшие десятилетия. Как это может быть достигнуто? Во-первых, каким образом регулировать непредсказуемое увеличение народонаселения планеты? Это обязательное и совершенно необходимое требование, без которого элементарные условия существования людей, исходя из хорошо изученных ресурсов планеты, не могут быть обеспечены. Во-вторых, каждая создаваемая технология в любой отрасли промышленности, в том числе



военной, медицине, сельском хозяйстве, должна проходить через экологическую призму для того, чтобы исключить или минимизировать возможности появления новых очагов эмиссии техногенных/токсических веществ. Это, в первую очередь, касается мультинациональных компаний и отдельных стран, производящих разнообразную продукцию в больших масштабах, связанную с образованием большого количества техногенных соединений. Отдельно должен рассматриваться вопрос минимизации добычи и использования таких энергоресурсов, как нефтепродукты, наиболее массовые источники токсических соединений. И, наконец, в-третьих, следует тщательно изучить все еще существующие возможности «облагораживания» планеты, т.е. количественного увеличения масштабов плодородных земельных пока незначительно или вовсе не используемых крупных регионов планеты, все еще имеющих в распоряжении человечества. Конечно, это не весь перечень причин устранения экологического дисбаланса, существуют и другие, также заслуживающие соответствующего внимания. Регионы с малоплодородными почвами, либо вовсе неурожайные годы и вызывающие их причины никоим образом не следует считать проблемами отдельных стран, все они, буквально каждый участок, должны стать предметом международного обсуждения. Роль дипломатов и политических деятелей всех стран, в первую очередь, должна заключаться в достижении консенсуса именно в этом вопросе.

Хорошо известно, что для того, чтобы каким-то образом уменьшить очаг главной проблемы экологии – использования традиционных невозобновляемых источников энергии, необходимо значительно усилить все возможности природных источников: гидроэлектростанций, геотермальных вод, энергию солнца и ветра. Такие технологии уже находят все более широкое применение, но, несмотря на их стоимость, необходимо использование буквально всех возможностей, тем более, что такие реально существуют. К примеру, к этой же категории инновационных технологий следует отнести производство и использование электродвигателей, в особенности автомобилей, что существенно понижает выбросы токсичных соединений бензапирена, бензантрацена, оксидов азота и окиси углерода, главным образом, в условиях крупных городов.

Предприниматели работают над созданием батарей, которые в состоянии содержать большое количество энергии, а при необходимости использовать его для разных целей, включая отопление домов. По данным журнала *Scientific American*, решение изобретателя Илона Маска настолько же дерзкое, насколько простое.

Используя энергию солнца, получая достаточное количество возобновляемой энергии для системы и сглаживая производство и использование энергии между пиковыми и непиковыми часами, все нации могут существенно уменьшить использование ископаемого топлива в качестве источника энергии.

В производстве пищи, по мере того как население растет, а количество аграрных плантаций уменьшается, требуются аграрные технологии нового типа. Так, например, новое технологическое направление предполагает «движение вверх», т.е., организацию вертикальных ферм, что, несомненно, кроме новизны и экономии площади под культивируемые растения, предполагает большие перспективы не только с точки зрения экономии энергии и посевной площади, но и защиты растений в специально для этой цели организованных теплицах. Технология настолько впечатляет, что необходимо привести соответствующий пример ее практической реализации. Вертикальная ферма Vertical Harvest в Джексоне, штат Вайоминг, представляет собой трехэтажную гидропонную оранжерею 9x45 м, которая может ежегодно производить 16 тонн овощей, 2 тонны зелени и 19 тонн томатов. Стандартным фермам требуется сотня акров для получения аналогичного урожая, <http://www.facepla.net/>.

Нельзя оставить без внимания исследования профессора Теруо Хига (Университет Рюкю, Окинава, Япония), который за счет созданного микробиологического консорциума не только очищает и оздоравливает почву, но и оказывает позитивное влияние на окружающую среду. По его заключению, эффективные микроорганизмы – это десятки разных форм микроорганизмов, используя их регенерирующую функцию, способствующую значительной интенсификации характерных почвенных процессов, обмену веществ и повышению усвояемости минеральных и органических веществ, в результате эффективной коллаборации почвы и растений, значительно повышают эффективность плодородия растений.

Эффективные микроорганизмы профессора Т. Хига – это консорциум аэробных и анаэробных микроорганизмов, синергически действующих на почвенные процессы. В состав микробиологического препарата Хига входят молочнокислые и фотосинтезирующие бактерии, а также микроорганизмы всех таксономических групп: бактерии, дрожжи, актиномицеты и грибы, имеющие исключительно широкий спектр действия. Эти микроорганизмы, являясь антагонистами патогенной микрофлоры, подавляют их рост, чем существенно облагораживают почву. Эти работы получили широкое распространение в масштабе всего мира, <https://agriecomission.com/base/teruo-higa-i-ego-effektivnye-mikroorganizmy> [125].

Выведение новых высокопродуктивных животных и растений, генномодифицированных или созданных классическими методами селекции, также следует рассматривать как возможность увеличить производство пищи и сохранность экологии энергосберегающими технологиями, рациональным расходованием уже ограниченных природных кормовых ресурсов.

Как постоянно действующий энергетический источник, количество солнечной энергии, имеющей непосредственный контакт с поверхностью земли (почвой), в регионах с умеренным или умеренно жарким климатом составляет до 10 миллиардов килокалорий в год на гектар. Не располагая масштабной технологией сохранения солнечной энергии, следует усилить естественные формы консервации этой даровой формы энергии в виде накапливаемой биомассы растений и параллельным усилением иммунной системы почвы. Достигается это за счет повышения интенсивности фотосинтеза, активной фиксации молекулярного азота и размножения экологически исключительно важной ризосферной микрофлоры. Дополнительное (максимальное) озеленение планеты является крайне выгодной формой использования солнечной энергии и одновременно большим вкладом в экологию.

Очистка и опреснение воды, предназначенной для питья, несомненно, являются одними из самых главных проблем современности. Несмотря на отсутствие реальных масштабных технологий, позволяющих в корне решить эту важнейшую проблему, существуют определенные удачные технологические решения. Так, ученые из Национальной ускорительной лаборатории SLAC Министерства энергетики США и Стэнфордского университета разработали устройство, которое активируется солнцем и за 20 минут убивает 99,999% бактерий, находящихся в воде. ([www.slac.stanford.edu](http://www.slac.stanford.edu))

Следует тщательно анализировать и широко использовать всевозможные экономные технологии расходования природных ресурсов во всех отраслях промышленности, и этим должны заниматься авторитетные международные организации. Это вынужденный, но безусловно прогрессивный этап формирования новых принципов технологической обеспеченности общества. Исследования в этом направлении интенсивно продолжаются, опубликован ряд оригинальных технологий и наукоемких патентов, посвященных экологическим проблемам.

**Тем не менее ставится вопрос: на фоне существенного повышения токсичности во всех экологических нишах принесли ли эти новые, инновационные экологические технологии какое-нибудь значительное улучшение**

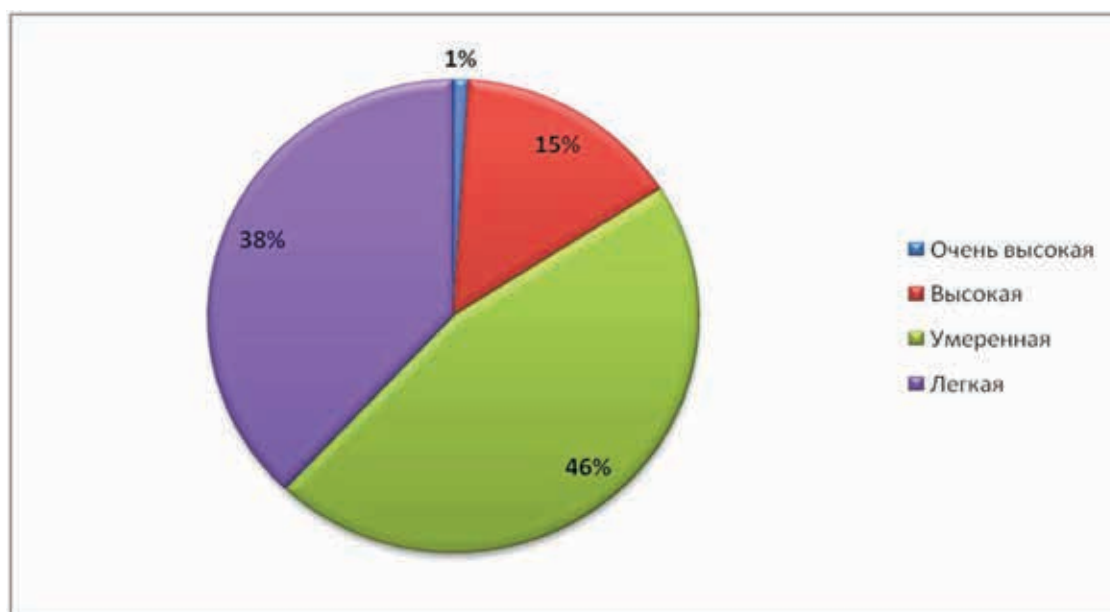
**экологического баланса окружающей среды? Безусловно, нет, потому, что систематически повышающаяся эмиссия токсических соединений опережает потенциал их полезного действия, и еще потому, что все они ограничены региональными масштабами.** Настоятельно требуются новые, более революционные глобальные технологии, подходы, решения для прекращения или максимального уменьшения катастрофическими темпами растущего экологического дисбаланса.

Насколько это реально в современных условиях – создание революционных технологий, способных серьезно повлиять на экологическую картину всей планеты? Очевидных решений, способных немедленно и однозначно решить проблему, не видно. Следовательно, надо комплексно, всеми доступными средствами бороться с непредсказуемо быстрыми темпами увеличивающимся техногенным заражением всей экосистемы планеты. При этом следует учитывать, что сама технология не должна служить источником заражения какой-либо экологической ниши. В этом смысле особенно повышенный интерес уделяется биологическим принципам и основанным на них экологическим, в высшей степени дружелюбным природе технологиям.

Согласно информации ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), к 2050 году спрос на пищевые продукты увеличится на 60%, а в развивающихся странах почти на 100%. Это произойдет, когда, по официальным данным, 33% почвы будет деградировано в степени от умеренной до глубокой эрозии, в результате истощения пищевых ресурсов, засоления, недостатка влаги и химического загрязнения токсическими веществами. Темпы деградации такого ценного природного ресурса, как почва, настолько велики, что ставят в будущем под сомнение не только возможность применения технологий глобальных масштабов, затрагивающих производство пищи, но даже осуществления элементарной санитарной экологии. Подсчитано, что в результате нерационального использования уже потеряно до 2 миллиардов продуктивных земельных ресурсов, больше, чем вся современная площадь пашни. Основными факторами деградации почв, несомненно, являются постоянно увеличивающееся количество токсических соединений, нерациональные технологии использования земельных ресурсов. Из природных, деградирующих почву факторов, следует, в первую очередь, отметить водную эрозию, которая приводит к разрушению и сносу почвенного покрова. Несомненно, большой урон почве наносит ветровая эрозия,

особенно в степных регионах и местах, где характерны пыльные бури. Под действием этих факторов, кроме эрозии, наблюдается обеднение оставшейся почвы, существенно понижающее ее иммунную систему. Так, недостаток любого из 15 питательных веществ, требуемых растениям для роста и полноценного урожая, может привести к значительному понижению и ухудшению качества производимой продукции. По тем же данным ФАО, почва как постоянно востребованный, истощимый и невозобновляемый ресурс, в случае глубокой эрозии для полного восстановления требует долгого времени, а в некоторых неблагоприятных почвенно-климатических зонах почти период, соответствующий жизни одного поколения. Несмотря на очень высокий авторитет любой информации ФАО, нельзя не отметить, что восстановление эродированной почвы может быть решено в значительно более короткие сроки, путем искусственного обогащения почвы элементарной органикой и интродукцией селекционно подобранными почвенными микробными консорциумами (бактерии, мицелиальные грибы, актиномицеты), основываясь на существующих климатических условиях.

Степень деградации почв может быть различной. Обычная классификация включает четыре следующие градации: слабая (легкая), умеренная, высокая и очень высокая степень. По данным ООН, очень высокая степень, при которой почвенный покров фактически полностью разрушается, распространена незначительно. Но нужно иметь в виду, что даже 1% очень сильно деградированных пахотных земель в масштабах всей планеты составляет 16 млн га. Высокой и умеренной деградации подвержены почти 2/3 пахотных земель (см. рис. 17).



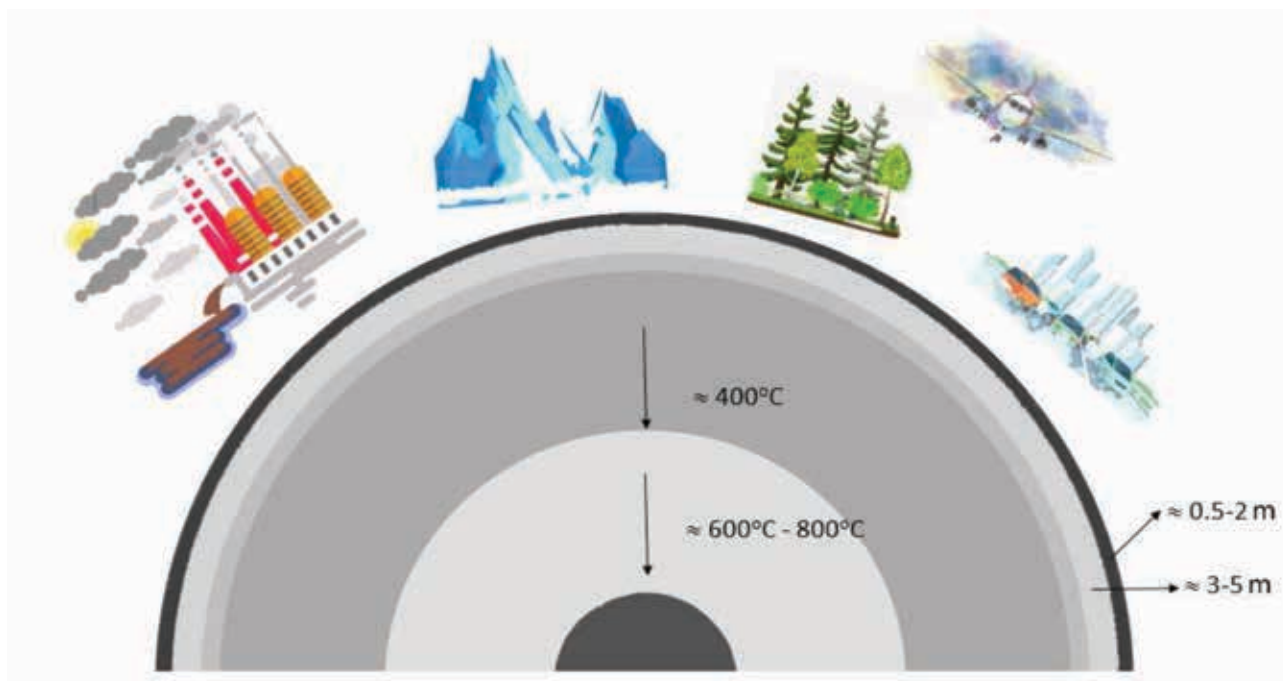
**Рис. 17.** Степень деградации почв в мире.

Вот еще один потенциал экологической безопасности планеты. Эти данные однозначно указывают, что проблемы, связанные с экологией всей планеты, должны решаться комплексно, на уровне таких международных организаций, как ООН. Несомненно, по своей значимости почвы на всех континентах являются важнейшими для всего человечества.

С учетом всего вышесказанного, авторами предложена разрабатываемая в течение 30 лет биологическая концепция как постоянно действующая экологическая биотехнология, призванная восстанавливать эрозированную почву, осуществлять мониторинг и улучшать экологический дисбаланс путем деградации токсических соединений за счет интенсификации метаболических процессов почвы, использования детоксикационного потенциала ризосферных микроорганизмов и корневой системы растений. Приведено множество примеров, доказывающих эффективность их индивидуального и совместного использования при очистке почвы от контаминантов самых разных структур. Фактически, предлагаемая концепция представляет существенную интенсификацию естественного биологического процесса, основанного на синергических способностях микроорганизмов и растений совместно осуществлять деградацию токсичных природных и антропогенных соединений в естественных условиях. Существенное повышение эффективности технологии достигается за счет селекции и растений, и микроорганизмов, активно ассимилирующих контаминанты в полевых условиях. По подсчетам авторов, эффективность совместного, имеющего место в природе, использования детоксикационного потенциала микроорганизмов и растений в результате их совместного нахождения, не превышает 5% их максимальной возможности. Это и есть тот потенциал, который можно увеличить минимум до 40-50% путем искусственного внесения в почву селективно отобранных активных консорциумов микроорганизмов и растений, тем самым только усиливающих иммунную систему почвы, и использовать их в форме дружественной к природе технологии в неограниченно глобальных условиях.

Еще раз подчеркивая значимость и важность предлагаемой биологической технологии, хотелось бы особенно обратить внимание на рис. 18, где схематически показана планета в разрезе, что дает возможность ее технологической оценки. Почва – это крайне тоненький слой планеты, в разных его частях равный от 20 до 150 см, окружающий всю земную сушу и несущий на себе колоссальную, ни с чем не сравнимую ответственность, связанную с урожаем, экологическим ба-

лансом и, в целом, благополучием всего человечества. В разных частях планеты функциональная активность почвы значительно различается. С технологической точки зрения, оценивая биологические функции земельных пластов, расположенных еще глубже (2 метра и более), следует отметить, что и на этих глубинах наблюдается определенная трансформационная деятельность (активность) подпочвенного слоя, в основном обусловленная действием микроорганизмов. Технологически оценивая экологическую функцию этого слоя, равного от 4-6 до 10 метров, следует отметить, что именно здесь проходит граница, разделяющая почти все мироздание на жизнеспособную, метаболически активную верхнюю часть почвы, и значительно более инертную, с точки зрения биологических трансформаций, часть планеты. Современные взгляды на функции и характеристики отдельных слоев почвы показаны на рис. 18.



**Рис. 18.** Планета в разрезе.

Почва, как хорошо известно, это, в основном, гумус плюс минералы в разных соотношениях. Однако в связи с ухудшающейся экологической ситуацией следует подчеркнуть возросшую, крайне важную функцию почвы и подпочвенной части земной коры, осуществляющей детоксикацию большого количества самых разнообразных токсичных соединений. Если хорошо разобраться в функциональной активности почвы, то следует отметить, что и с внутренней, и с внешней стороны почвы имеет место перманентное обогащение большим количеством нехарактерных, токсичных, в том числе техногенных компонентов. Высокотемпе-

ратурная бурлящая масса, обладающая колоссальным потенциалом химического синтеза, в которой температура достигает 600-800°C, а в астеносфере до 1200°C, является мощным источником образования новых, стабильных и нехарактерных в природе соединений. Эти, образованные в недрах земли, в условиях высокотемпературных реакций, стабильные соединения в результате слабой, но характерной диффузии, достигают почвенного покрова и, если бы не способность почвы связывать и трансформировать большинство из них, то они в значительной степени могли бы воздействовать на химический состав верхнего слоя земной коры и даже околоземной, нижней части литосферы. Технологически оценивая исключительную роль почвенного покрова, следует отметить, что почва, благодаря характерному потенциалу, трансформирует большинство этих соединений в обычные природные компоненты. Будучи продуктами высокотемпературных режимов синтеза, ряд этих соединений характеризуется высокой стабильностью, поэтому часть из них все же просачивается сквозь почвенный покров и становится компонентами литосферы. Несомненно, в трансформационных процессах этих соединений принимают участие большинство почвенных организмов, хотя львиная доля трансформаций осуществляется микроорганизмами и корневой системой растений. Таким образом, именно почва является основным компонентом природы, усваивающим и трансформирующим соединения, образованные в глубоких недрах земли и в надземной атмосфере. А что происходит с внешней стороны почвы, это довольно детально изученный процесс, в котором почве отводится уникальная роль в сохранении жизненно важного экологического баланса. Токсичные соединения, продукты эмиссии транспорта, энергетики, сельского хозяйства и др., благодаря своему более тяжелому удельному весу в сравнении с воздухом, в условиях безветренной погоды располагаются на расстоянии до полутора метров (150 см) от земной коры (почвы). Все эти соединения, в конечном счете, оказываются клеточными компонентами растений, всех живых организмов или оседают в почву. Совершенно ясно, что почва, обладая определенной трансформационной способностью, не в состоянии осуществлять деконтаминацию существенно возросших концентраций токсичных компонентов. Селекция почвенных высокоактивных микроорганизмов (бактерий, мицелиальных грибов, актиномицетов), активных деструкторов токсичных соединений, и их искусственная интродукция в почву, совместно с корневой системой также селективно отобранных растений, активно ассимилирующих токсичные компоненты, во мно-



го раз повышает деконтаминационный потенциал нормальной почвы (в 10 раз и более), превращая процесс деградации токсичных соединений в дружественную к природе экологическую биотехнологию. Таким образом, предлагаемая биотехнология копирует естественный процесс круговорота атомов всех соединений, в том числе, образующих токсичность, путем существенного усиления почвенного деконтаминационного процесса от постоянно поступающих в почву надземных и подземных токсичных соединений.

Несомненно, любые масштабы использования этой технологии могут принести только пользу различным регионам на планете, хотя особенно целесообразно их использование в тех местах, где концентрация токсичности в разы превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), создавая критические жизненные условия. Таких регионов на планете довольно много. Технология представляет интерес и с точки зрения постоянного мониторинга экологически опасных регионов. Что касается глобальных масштабов ее использования, то совершенно очевидно, что они не ограничены, поскольку культивирование растений и внесение в почву соответствующих форм микроорганизмов возможно в любых условиях. Особенно важным является тот факт, что наличие коллекций микроорганизмов и растений, адаптированных к разным, в том числе и экстремальным условиям существования (климатические условия, наличие токсических соединений, радиации и др.), является гарантией ее успешной реализации в масштабе всей планеты.

Предлагаемая технология, будучи использованной с максимальной эффективностью, носит планетарный характер, и успех ее реализации определяется коллаборацией всех или большинства стран, независимо от их конфессий, политических убеждений, традиций и каких-либо других факторов, и заключается в масштабном селективном озеленении всех возможных земельных регионов. В реализацию данной технологии должны быть включены земельные ресурсы всех категорий: сельскохозяйственные плантации, лесной фонд, земли поселений, места отдыха как особо защищенные территории, места бывших и настоящих военных дислокаций. Особенное внимание следует обратить на земли стран послевоенного периода, с большой вероятностью содержащие токсичные, взрывчатые вещества или также токсичные продукты их частичной биотрансформации. Несмотря на ряд сложностей самого разного характера, следует иметь в виду, что это вынужденное мероприятие для сохранения тех условий и той формы жизни, к которой адаптировано мировое сообщество.

Что могло бы принести использование вышеописанной биологической концепции в масштабе всей планеты?

Во-первых, более эффективное использование даровой солнечной энергии и света для накопления растительной биомассы как формы консервации энергии, повышения иммунной системы почвы, активности важнейшего экологического агента. Несомненно, в поисках альтернативных источников энергии солнечная энергия является основной формой, не имеющей аналога, с действием которой непосредственно связано существование иммунной системы всей природы.

Во-вторых, значительное увеличение площадей, населенных активными, искусственно интродуцированными, селективно подобранными видами растений и ризосферными микроорганизмами. Это явится не только дружественной к природе технологией, которая способствует очистке всех экологических ниш от токсичных и нехарактерных природе соединений, но и, что очень важно, содействует вовлечению в экологические технологии неиспользованных резервов планеты; созданию новых источников столь важных для человечества водных ресурсов, и станет крайне дружественной формой усиления многокомпонентного почвенного сегмента природы, особенно важного для урожая всех видов сельскохозяйственных культур.

Очевидно, недалеко то время, когда планета превратится в единую систему анализа и планирования всего имеющегося аграрного и экологического потенциала. Реализация экологических технологий, не нарушая экологического баланса природы, станет важным фактором в освоении больших массивов пустынных и облагораживании малоурожайных земель. Анализ количества опустыненных земель только севера Африки и прилегающей к ней части Азии составляет 11 630 400 км<sup>2</sup>, что убеждает в том, что этот регион является жизненно важным, но все еще неиспользованным потенциалом планеты. Наглядным примером может служить Египет, когда-то в масштабе всей занимаемой площади цветущая страна превратилась в пустыню, в которой теперь 80% экономики страны расположено в дельте одной из самых многоводных рек мира – Нила, длина которого почти 700 километров. Тропический и субэкваториальный климат, а также Нил с его колоссальным водным бассейном – это предпосылки, способные обеспечить облагораживание почв и создание условий типа тропической экологии вдоль всей длины реки от озера Виктория до Средиземного моря. Учитывая, что бассейн реки Нил составляет 3 349 000 км<sup>2</sup>, а дебит 2830

м<sup>3</sup>/сек, а для аграрных целей, предположительно, может быть максимально использована лишь его одна треть, то очевидно, что Средиземному морю, для которого Нил является основным поставщиком воды, не угрожает опасность типа Аральского моря. Тем более, что уровень воды в Черном море, в которое вливается ряд многоводных рек, превышает уровень Средиземного, что обеспечивает перелив воды из Черного в Средиземное море. Кроме того, Средиземное море связано Гибралтарским проливом с Атлантическим океаном, и это является гарантией незыблемости этого большого и экологически важного водного бассейна. Наличие нормальных условий жизни в регионе кардинально повлияло бы и на геополитику Африки, Азии и даже Европы. В чем все это выразилось бы: **во-первых**, в масштабном озеленении, что изменило бы экологию очень крупных, ныне пустынных регионов южнее Средиземного моря, положительно воздействуя и на смягчение климата всего севера Африки, а также появление дополнительных водных ресурсов; **во-вторых**, на планете создались бы новые регионы для масштабного производства аграрной продукции; **в-третьих**, образовались бы нормальные, привлекательные условия жизни на севере Африки, и прекратился бы бесконечный поток переселенцев из стран Азии и Африки в Европу. Несомненно, от реализации данного проекта будет ряд и других преимуществ, которые невозможно предвидеть.

Поскольку экологическая катастрофа касается всего населения планеты, то и ее облагораживание, устранение земельных факторов, мешающих народонаселению и эффективному использованию земли, должно стать общечеловеческой задачей, касающейся участия в реабилитационных процессах всех государств. Исходя из неблагоприятных экологических перспектив общества, почти без тени сомнений можно заключить, что уже в очень недалеком будущем экологическое благосостояние окажет серьезное влияние и на геополитические взаимоотношения. Именно фактор экологической безопасности планеты должен явиться тем направляющим вектором, когда все страны и народы мира будут вынуждены согласиться ставить во главу угла и политики, и экономики экологическое благосостояние.

Этот мегаэкологический проект является дорогостоящим мероприятием, первый этап которого заключается в облагораживании неблагоприятных для жизни и аграрных целей земельных ресурсов планеты. В дальнейшем биоэкологические технологии должны быть реализованы в масштабе всей планеты, что будет

крайне важным шагом, позволяющим минимум на много десятилетий сохранить стабильность мирового сообщества, даже в условиях трудно прогнозируемого увеличения народонаселения планеты.

Создание экологических и социальных проектов, касающихся решения уже назревших жизненно важных проблем, является абсолютно необходимым этапом. Следует особо подчеркнуть, что речь идет о земельных территориях, равных примерно 15 млн км<sup>2</sup>, что, безусловно, явилось бы существенным расширением территорий аграрных плантаций и созданием новых экологически дружественных центров. С помощью современных аграрных технологий, наличия воды и подходящего климата, позволяющих облагораживать необработанные почвы, создается возможность их превращения в нормальные, высокоурожайные плантации и экологически безопасные регионы в течение нескольких лет.

Мнения ряда авторов, о том, что планета, в силу своего, существующего на сегодня, экономического потенциала, способна содержать население в 20 миллиардов и более жителей, является необоснованной и несоответствующей реальности. Для этого достаточно указать даже на одну чрезвычайно сложную проблему, такую, как обеспечение водой *Homo consúmens*, которая уже сегодня, в условиях населения планеты равного 8 миллиардам, представляет крайне серьезную проблему. Нет ни малейших сомнений, что в результате возможных и столь же необходимых мероприятий, и экологический, и экономический потенциал планеты можно улучшить, что позволило бы на десятки лет отодвинуть надвигающуюся экологическую катастрофу, ряд первопричин которой описаны в отдельных главах данной монографии.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Kulshrestha U, Saxena P (2016) Plant Responses to Air Pollution. Singapore Springer 194 p.
2. Kannan Pakshirajan, Eldon R. Rene, and Aiyagari Ramesh Biotechnology in Environmental Monitoring and Pollution Abatement 2015. Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International Volume 2015, Article ID 963803, 3 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/963803>.
3. (<https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries>) (Joseph James Whitworth. Industry searching for energy-saving and safe air decontamination – Potok. <https://www.foodnavigator.com/Article/2017/04/07/Potok-explains-air-decontamination-technology>).
4. <https://e360.yale.edu/features/ozone-pollution-an-insidious-and-growing-threat-to-biodiversity>.
5. Barbier, Edward. A Global Green New Deal, Report prepared for the Green Economy Initiative of UNEP., 2009. <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=670&menu=1515>
6. Садковская Н. Е. Особенности выбросов загрязняющих веществ от промышленного производства в городах /Н. Е. Садковская // Научные технологии. - 2014. - Т. 14.- № 2. - С. 34–35.
7. Ware G. Kuschner MD, Paul D. Blanc MD, MSPH. Acute Responses to Toxic Exposures. Murray & Nadel's Textbook of Respiratory Medicine, 103, 1435-1446.e7.
8. Тарко А. М. Моделирование глобального биогеохимического цикла углерода с учетом сезонной динамики и анализ динамики концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере /А. М. Тарко, В. В. Усатюк // Доклады Академии наук. - 2015. - Т. 448.- № 6. - С. 711–714.
9. Шлегель К. Д., Верхотуров С. С. Токсикологические свойства газообразных загрязнений и их влияние на организм человека //Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – Т. 1. – №. 12., 55.
10. Стройков Ю. Н. Клиника, диагностика и лечение поражений отравляющими веществами / Ю.Н. Стройков. - Москва: ИЛ, 2014. - 176 с.
11. Предоставлено проектом SeaWiFS, Центром космических полетов Годдарда и OR-BIMAGE-<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/BACKGROUND/Gallery/index.html> и с en: Image: Seawifs global biosphere.jpg, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=387228>.
12. Agathos S, Walter Reineke W (2002) Biotechnology for the Environment: Soil Remediation. Springer Science & Business Media, p. 142.
13. Kvesitadze G., Kvesitadze E., Degradation of anthropogenic contaminants by higher plants. In: Complexity and Security J.J. Ramsden and P.J. Kervalishvili (Eds.) IOS Press, Amsterdam, Berlin, Oxford, Tokyo, Washington, DC. 2008, p.p. 277-298.
14. <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/types-pesticide-ingredients>.
15. de Albergaria JTVS, Hendrikus P. A. Nouws HPA (2016) Soil Remediation: Applications and New Technologies. CRC Press, Nature, p. 174.

16. Bhattacharya S, Gupta AB, Gupta A, Pandey A (2018) Water remediation. Springer, Singapore. P. 246.
17. Boyd CE (2020) Water quality: an introduction. Springer, Nature Switzerland, p. 440.
18. Pileni M.P., Zemb T., Petit C. Solubilization by reverse micelles-solute localization and structure perturbation// Chem.Phys.Lett., 1985. Vol. 118, N.4, p.p. 414-420.
19. Кирк Б.Гудол, Предварительный анализ роли дейтерия в деградации ДНК, The Official Newsletter of the American Academy of Anti-Aging Medicine, Fall 2003.
20. <https://leap.unep.org/content/unea-resolution/protection-marine-environment-land-based-activities>.
21. S.C.Gad. Sulfur Dioxide. Reference Module in Biomedical Sciences. Elsevier. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). 2014, p.p. 420-423.
22. Giorgi Kvesitadze, Gia Khatisashvili, Tinatin Sadunishvili. Metabolism of <sup>14</sup>C-containing contaminants in plants and microorganisms: in: Dharmendra Kumar Gupta Clemens Walther Editors: Radionuclide Contamination and Remediation Through Plants, 978-3-319-07664-5, 320979, p.p. 254-270. Springer.
23. Current state of knowledge in microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review/ D. Ghosal [et al.] // Front. Microbiol. 2016, 7. p. 1369. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01369
24. Bioremediation mechanisms of combined pollution of PAHs and heavy metals by bacteria and fungi: a mini review / S.H. Liu [et al.] // Bioresour. Technol. 2017, 224. P. 25–33. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.11.095.
25. Kvesitadze G., Meskhi B. Ch., Khatisashvili G. Three stage biotechnology for the rehabilitation of soils polluted with explosives // Science Almanac of Black Sea Region Countries. 2018, 13(1), p.p. 53–67. DOI: 10.23947/2414-1143-2018-13-1-60-77.
26. Influence of temperature on growth and degradation ability of microorganisms capable for degradation of 2,4,6-trinitrotoluene and mineral oil / L. Tinikashvili [et al.] // Proceed Georgian Acad Sci, Biological Series A. 2004. 30, 4. p.p. 493–497.
27. Influence of some physicochemical factors in different microorganisms capable for degradation of 2,4,6-trinitrotoluene and mineral oil / Kh. Varsimashvili [et al.] // Proceed Georgian Acad Sci, Biological Series B. 2004, 2, p.p. 104–109.
28. Plant processes important for the transformation and degradation of explosives contaminants / E.PH Best [et al.] // Zeitschrift für Naturforschung, 2005, p.p. 340–348.
29. Bacterial population and biodegradation potential in chronically crude oil-contaminated marine sediments are strongly linked to temperature / R. Bargiela [et al.]. 2015. DOI: 10.1038/srep11651.
30. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2021-12-29/china-s-water-shortage-is-scary-for-india-thailand-vietnam#xj4y7vzkg>,  
[https://ecfr.eu/article/commentary\\_the\\_end\\_is\\_nile\\_international\\_cooperation\\_on\\_egypts\\_water\\_crisis/](https://ecfr.eu/article/commentary_the_end_is_nile_international_cooperation_on_egypts_water_crisis/)

31. Zaalishvili G., Khatisashvili G., Ugrekhelidze D., Gordeziani M., Kvesitadze G. (2000) Plant potential for detoxification (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 36, 5, p.p. 443-451.
32. Gill R.T., Harbottle M.J., Smith J.W.N., Thornton S.F. (2014) Electrokinetic-enhanced bioremediation of organic contaminants: a review of processes and environmental applications. *Chemosphere*, 107, p.p. 31-42
33. Zhang, Q., Zhang, H., and Wang, J. (2019). Diversity of Bacterial Structure Community in the Compacted Sewage Sludge as a Barrier for Tailings. Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-13-2227-3.
34. Barnes J.L, Zubair M., John K., Poirier M.C., Francis L. Martin F.L. Carcinogens and DNA damage. *Biochemical Society Transactions*. 2018, <https://doi.org/10.1042/BST20180519>.
35. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. М.: Мир, 1997. 232 с.
36. Adamia G., Khatisashvili G., Varazashvili T., Pruidze M., Ananiashvili T., Gvakharia V., Adamia T., Gordeziani M. // *Bull. Georg. Acad. Sci.* 2003. V, 167. p.p. 155–158.
37. Русин В.Я. // *Вредные химические вещества*. Л.: Химия, 1989. С. 415–436.
38. Cohen S.M. // *Pediatr. Nurs.* 2001. V. 27. p.p. 125–130.
39. Goyer R.A. // *Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons*, 5th edn., New York: McGraw Hill, 1996.
40. Эйхлер В. Яды в нашей пище. М.: Мир, 1985. 213 с.
41. КORTE Ф., Бахадир М., Клайн В., Лай Я.П., Парлар Г., Шойнерт И. Экологическая химия. М.: Мир, 1996. 395 с.
42. Nordberg G., Jin T., Leffler P., Svensson M., Zhou T., Nordberg M. // *Analisis*. 2000. V. 28. P. 396.
43. Samoiloff M. Benzene toxicity. Benzene and derivatives. *Organic chemistry*
44. Дурмишидзе С.В. // *Биотрансформация ксенобиотиков в растениях*. Тбилиси: Мецниереба, 1988. С. 4–78.
45. Baker A.J.M., Mcrath S.P., Sidoli G.M.D., Reeves R.D. // *Maning Envivon. Manage.* 1995. V. 3. P. 12–14.]
46. Salt D.E., Blaylock M., Nanda Kumar P.B.A., Dushenkov V.P., Ensley B.D., Chet I., Raskin I. // *Biotechnology*. 1995. V. 13. p.p. 468–474.
47. Brown S.L., Chaney R.L., Angle J.S., Baker A.J.M. // *J. Environ. Qual.* 1994. V. 23. p.p. 1151–1157.
48. Commoner B. The political history of dioxin. <http://www.greens.org/s-r/078/07-03.html>. 1994.
49. Korte F., Kvesitadze G., Ugrekhelidze D., Gordeziani M., Khatisashvili G., Buadze O., Zaalishvili G., Coulston F. (2000) Review: Organic toxicants and plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2000, 47, 1, 1-26.
50. Ugrekhelidze, D., Korte, F., Kvesitadze, G. (1997) Uptake and transformation of benzene and toluene by plant leaves. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 37, 24-28.

51. Guttes S, Failing K, Neumann K, Kleinstein J, Georgii S, Brunn H (1998) Chlororganic pesticides and polychlorinated biphenyls in breast tissue of women with benign and malignant breast disease. *Arch Environ Contam Toxicol* 35: 140–147.
52. Korte F, Behadir M, Klein W, Lay JP, Parlar H, Sceunert I (1992) *Lehrbuch der ökologischen chemie. Grundlagen und Konzepte für die ökologische Beurteilung von Chemikalien*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York.
53. Andrews LS, Snyder R (1991) Toxic effects of solvents and vapors. In: Amdur MO, Doull J, Klaassen CD (eds) *Cassarett and Doull's toxicology*. 4th edn. McGraw Hill, New York, p.p. 693–694.
54. Bergen BJ, Nelson WG; Pruell RJ (1993). “Bioaccumulation of PCB Congeners by Blue Mussels (*Mytilus edulis*) deployed in New Bedford Harbor, Massachusetts”. *Environ Toxic Chem* 12: 1671–1681. doi:10.1002/etc.5620120916.
55. Chekol T, Vough LR, Chaney RL (2002) Plant-soil-contaminant specificity and phytoremediation of organic contaminants. *Int J Phytoremediation* 4: 17–26.
56. Curfs DM, Beckers L, Godschalk RW, Gijbels MJ, van Schooten FJ (2003) Modulation of plasma lipid levels affects benzo[a]pyrene-induced DNA damage in tissues of two hyperlipidemic mouse models. *Environ Mol Mutagen* 42: 243–249.
57. Alouf JE, Ladant D, Popoff MR (2005) *The Comprehensive Sourcebook of Bacterial Protein Toxin* Elsevier, Science, p. 1072.
58. ATSDR (2006) Toxicological profile for vinyl chloride. <https://www.atsdr.cdc.gov/tox-profiles/tp20.pdf>
59. Natural Resource Council Committee on Oil in the Sea. Global marine oil pollution information gateway. <http://oils.gpa.unep.org/facts/sources.htm>. 2003.
60. Tolls J., de Graaf I., Thijssen M.A.T.C., Haller M., Sijm D.T.H.M. // *Environ. Sci. Technol.* 1997. V. 31. p.p. 3426–343.
61. Opresko D.M. Toxicity summary for 2,4,6-trinitrotoluene. [http://risk.lsd.ornl.gov/tox/profiles/2\\_4\\_6\\_trinitrotoluene\\_f\\_V1.shtml](http://risk.lsd.ornl.gov/tox/profiles/2_4_6_trinitrotoluene_f_V1.shtml). 1998.
62. Esteve-Núñez A., Caballero A., Ramos J.L. // *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 2001. V. 65. p.p. 335–352.
63. *EPA*. Introduction on phytoremediation EPA/600/R-99/107 [www.epa.gov/swertio1/download/remed/introphyto.pdf](http://www.epa.gov/swertio1/download/remed/introphyto.pdf). 2000.
64. Hannink N., Rosser S.J., French C.E., Basran A., Murray J.A., Nicklin S., Bruce N.C. // *Nat. Biotechnol.* 2001. V. 19. P. 1168–1172.
65. Spencer W.F., Farmer W.J., Cliath M.M. // *J. Residue Rev.* 1973. V. 49. p.p. 1–47.
66. Spencer W.F., Cliath M.M., Jury W.A., Zhang L.-Z. // *J. Environ. Qual.* 1988. V. 17. P. 504–509.
67. Kumar P., Moran D. // *J. TERI Inform Digest Energy Environ.* 2002. V. 1. p.p. 445–456.
68. Федоров Л.А. Необъявленная химическая война в России: политика против экологии. Центр экологической политики России. <http://www.seu.ru/cci/lib/books/chemwar/index.htm>. 1995.



69. <https://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/36963/POLSOL.pdf>.
70. <https://www.facepla.net/the-news/energy-news-mnu/6059>.
71. Lieuven T., Yang V., Yetter R. {Edit}. Synthesis Gas Combustion. Fundamentals and Applications. CRC Press, New York. 2010, p. 384.
72. Kvesitadze G., Gordeziani M., Khatisashvili G., Sadunishvili T., Ramsden J.J. (2001) Review: Some aspects of the enzymatic basis of phytoremediation. Journal of Biological Physics and Chemistry, 1, 2, 49-57.
73. Speight J. (2017) Natural Water Remediation: Chemistry and Technology. Elsevier, Butterworth-Heinemann Inc, p. 392.
74. Гуславский А. И., Канарская З. А. Перспективные технологии очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов. Текст научной статьи по специальности «Экологические биотехнологии».
75. <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-tehnologii-ochistki-vody-i-pochvy-ot-nefti-i-nefteproduktov>.
76. V. Odaruk, S. Tronin. Plasma-Chemical Technology of Clearing Industrial Waste Water, Waste Gas, Oil Refining, Municipal Solid Waste (MSW) and Industrial Waste. Civil Security Technology, Vol. 11, 2014, No. 3 (41).
77. Березин А.В. Применение совмещенной плазменно-каталитической технологии для окисления вредных веществ. ООО «Электроэкология»/ Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет). УДК 66.088:66.074.3.
78. <https://www.sworld.com.ua/konfer21/723.htm>.
79. Бруно Латур. Политики природы. Как привить наукам демократию. Ад Маргинем. 2018, с. 336.
80. Инновационные технологии проведения биорекультивации и биоремедиации почв. <http://www.ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/kommentrij-specialista/2630-innovatsionnye-tehnologii-provedeniya-biorekultivatsii-i-bioremediatsii-pochvy>.
81. Дмитренко В.П., Сотникова Е.В., Черняев А.В. Экологический мониторинг техносферы: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2014, 368 с.
82. Бутов И.И., Орлова И.Г. Рекультивация нарушенных земель, Экологический вестник России № 5, 2016 г.
83. Хаханина Т.И., Никитина Н.Г., Петухов И.Н. (2018) Химические основы экологии: учебник для среднего профессионального образования. Москва, Юрайт, 233 с.
84. Горбунова Т.И., Первова М.Г., Забелина О.Н., Салоутин В.И., Чупахин О.Н. (2011) Полихлорбифенилы. Проблемы экологии, анализа и химической утилизации. URSS, Красанд, 400 с.
85. Hasegawa H, Rahman IMM, Rahman MA (2015) Environmental Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils. Springer, Technology &Engineering, p. 254.



104. Голиков Р.А., Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (Обзор литературы) // Научное обозрение. Медицинские науки – 2017.
105. Тюменцева Е.Ю., Штабнова В.Л. Проблемы взаимоотношений человека и природы: история и современность // Сибирская ЭТНИКА. Преемственность межкультурных коммуникаций: материалы всероссийской научной конференции. под общей редакцией Д.П. Маевского. 2013. с. 28-30.
106. Burken JG (2003) Uptake and metabolism of organic compounds: green liver model. In: McCutcheon SC, Schnoor JL (eds) Phytoremediation. Transformation and control of contaminants. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey, p.p. 59–84.
107. Tinikashvili L, Varsimashvili K, Gagelidze N, Amiranashvili L, Chrikishvili D, Kirtadze E, Khatisashvili G, Ghoghoberidze M (2004) Influence of temperature on growth and degradation ability of microorganisms capable for degradation of 2,4,6-trinitrotoluene and mineral oil. Proceed Georgian Acad Sci, Biological Series A. 30, 4: 493–497.
108. Varsimashvili Kh, Tinikashvili L, Amiranashvili L, Gagelidze N, Kirtadze E, Khatisashvili G, Ghoghoberidze M (2004) Influence of some physicochemical factors in different microorganisms capable for degradation of 2,4,6-trinitrotoluene and mineral oil. Proceed Georgian Acad Sci, Biological Series B. 2: 104–109.
109. Угрехелидзе Д.Ш., Дурмишидзе С.В. (1984) Поступление и детоксикация органических ксенобиотиков в растениях. Тбилиси: Мецниереба, 230 с.
110. DeRidder BP, Dixon DP, Beussman DJ, Edwards R, Goldsbrough PB (2002) Induction of glutathione S-transferases in Arabidopsis by herbicide safeners. Plant Physiol 130: 1497–1505.
111. Ohkawa H, Tsujii H, Ohkawa Y (1999) The use of cytochrome P450 genes to introduce herbicide tolerance in crops: a review. Pestic Sci 55: 867–874.
112. Schnoor JL, Dee PE (1997) Phytoremediation. Technology Evaluation Report TE-98-01. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center. Ser E. Iowa City.
113. National Geographic <https://www.nationalgeographic.com/environment/habitats/desertification/>. [http://rmrl.ru/blog/post\\_81/](http://rmrl.ru/blog/post_81/).
114. Schnoor JL, Licht LA, McCutcheon SC, Wolfe NL, Carreira LH (1995) Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. Environ Sci Techno 29: 318A–323A.
115. Eckardt NA (2001) Move it on out with MATEs. Plant Cell 13: 1477–1480.
116. Угрехелидзе Д.Ш. (1976) Метаболизм экзогенных алканов и ароматических углеводов в растениях. Тбилиси: Мецниереба, 223 с.
117. Coleman JOD, Mechteld MA, Kalf B, Davies TGE (1997) Detoxification of xenobiotics in plants: chemical modification and vacuolar compartmentation. Trends Plant Sci 2: 144–151.
118. Kurumata M, Takahashi M, Sakamoto A, Ramos JL, Nepovim A, Vanek T, Hirata T, Morikawa H (2004) Degradation of nitrocompounds by transgenic plants expressing a

- bacterial nitroreductase gene. In: Phytoremediation: environmental and molecular biological aspects. OECD workshop, Hungary, Abstr, p. 54.
119. Adamia G, Ghoghoberidze M, Graves D, Khatisashvili G, Kvesitadze G, Lomidze E, Ugrekhelidze D, Zaalishvili G (2006) Absorption, distribution and transformation of TNT in higher plants. *Ecotoxicol Environ Saf*, 64: 136–145.
  120. Chrikishvili D, Sadunishvili T, Zaalishvili G (2006) Benzoic acid transformation via conjugation with peptides and final fate of conjugates in higher plants. *Ecotoxicol Environ Saf* 64, 3, 390-399
  121. Kvesitadze G, Khatisashvili G, Sadunishvili T (2004) Mechanisms to Detoxify Selected Organic Contaminants in Higher Plants and Microbes, and Their Potential Use in Landscape Management. Letter report. Contract number 62558-04-P-6107. European Research Office, U.S. Army Engineer Research and Development Center, United Kingdom, p. 144.
  122. Sandermann H (1994) Higher plant metabolism of xenobiotics: the “green liver” concept. *Pharmacogenetics* 4: 225–241.
  123. Sandermann H (1987) Pestizid-Rückstände in Nahrungspflanzen. Die Rolle des pflanzlichen Metabolismus. *Naturwissenschaften* 74: 573–578.
  124. Hannink N, Rosser SJ, Bruce NC (2002) Phytoremediation of explosives. *Crit Rev Plant Sci* 21: 511–538.
  125. Our Future Reborn by T. Higa Book. EM Technology changed world. Sunmark Publishing, Inc., 2006. ISBN 10: 4763196936 ISBN 13: 9784763196934.
  126. *Identification of transcriptome signatures and biomarkers specific for potential developmental toxicants inhibiting human neural crest cell migration*. Pallocca G, Grinberg M, Henry M, Frickey T, Hengstler JG, Waldmann T, Sachinidis A, Rahmenführer J, Leist M. *Arch Toxicol*. 2016 Jan; 90(1):159-80.
  127. *Environ. Health Perspect.* 2012; 120(8):1116-22. Evaluation of developmental toxicants and signaling pathways in a functional test based on the migration of human neural crest cells; *Bastian Zimmer I, Gabsang Lee, Nina V Balmer, Kesavan Meganathan, Agapios Sachinidis, Lorenz Studer, Marcel Leist*.
  128. Michael Bunge, Lorenz Adrian, Angelika Kraus, Matthias Opel, Wilhelm G Lorenz, Jan R Andreesen, Helmut Görisch, Ute Lechner. Reductive dehalogenation of chlorinated dioxins by an anaerobic bacterium. *Nature*, 2003 Jan 23; 421(6921):357-60. doi: 10.1038/nature01237.
  129. Hervé V, Ketter E, Pierrat J-C, Gelhaye E, Frey-Klett P (2016) Impact of Phanerochaete chrysosporium on the Functional Diversity of Bacterial Communities Associated with Decaying Wood. *PLoS ONE* 11(1): e0147100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147100>.

*Доктор*

*Александр Потемкин*

Гамбург, Германия

*Профессор*

*Месхи Бесарион*

Ростов-на-Дону, Россия

*Профессор*

*Гиорги Квеситадзе*

Тбилиси, Грузия

# ЭКОЛОГИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ:

необходимость перехода *Ното сариенс*

на новый этап развития