

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВУ»**  
**КАФЕДРА ПОЧВОВЕДЕНИЯ, ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.М. ДЖАМБУЛАТОВА»,**  
**КАФЕДРА КАДАСТРОВ И ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

# **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

**1 часть**

**Учебное пособие**

**Направление подготовки: 05.06.01 – Науки о Земле**  
***(бакалавриат, магистратура, аспирантура)***

**Москва – 2017**

**УДК 631.95**  
**ББК 20.18**

**Рецензенты:**

**Хаустов Александр Петрович.** - д.г.-м.н., профессор, профессор Кафедры прикладной экологии ФГАОУ ВО РУДН.

**Лукьянова Татьяна Семеновна** – д.г.н., профессор, заведующая Кафедрой физической географии ФГБОУ ВО МГОУ.

Подготовлено и рекомендовано к печати Кафедрой почвоведения, экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству» (протокол №10 от 10.07.2017 г.) и Кафедрой кадастров и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО «Дагестанский Государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова» (протокол №1 от 04.09.2017 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией факультета «Агротехнологии и землеустройства» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова» (протокол № 1 от 14.09.2017 г.).

**Геоэкологический мониторинг. 1 часть: Учебное пособие.** – Москва, 2017. – 290 с.

В учебном пособии в 2 частях посвященному году экологии в России рассмотрены вопросы основных современных знаний в области геоэкологии и мониторинга окружающей среды. В 1 части рассмотрены основные вопросы по геоэкологии и геоэкологический мониторинг атмосферы, во 2 – геоэкологические вопросы водных ресурсов, земельных и других ресурсов, а также прилагаются вопросы для самоконтроля, глоссарий и специальная литература. Учебное пособие предназначено для бакалавров, студентов, магистров, аспирантов, изучающих геоэкологию и мониторинг окружающей среды, ученых и специалистов в области экологии, сельского хозяйства, землеустройства, кадастров и мониторинга земель, для всех, кто интересуется проблемой сохранения окружающей среды и выживания человечества, а также преподавателей средних и высших учебных заведений при разработке рабочих программ и компоновке лекционных курсов по геоэкологическому мониторингу. Она может быть интересна и более широкому кругу читателей

В учебном пособии (1 часть) содержится 19 таблиц и 131 рисунок.

**ISBN 978-5-9500577-5-5**

**УДК 631.95**  
**ББК 20.18**

**©Государственный университет по землеустройству, 2017.**  
**© Дагестанский ГАУ им. М.М. Джамбулатова, 2017.**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
2017 ГОД ЭКОЛОГИИ В РОССИИ.....	8
1. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ .....	13
1.1. Учение о биосфере .....	15
1.2. Экологические факторы .....	26
1.3. Экологические системы .....	34
1.4. Природные ресурсы .....	43
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ.....	55
3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ.....	78
3.1. Глобальный мониторинг окружающей среды .....	78
3.2. Государственный мониторинг окружающей среды в России .....	97
3.3. Загрязнение окружающей среды .....	111
4. ВИДЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА .....	122
4.1. Мониторинг состояния экосистем подверженных опустыниванию .....	122
4.2. Оценка деградации почв пастбищ .....	130
4.3. Ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг .....	134
4.4. Интегральная оценка степени деградации почв .....	140
5. МОНИТОРИНГ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА .....	150
5.1. Цели и задачи мониторинга околоземного пространства .....	150
5.2. Анализ возможностей современных средств мониторинга загрязнения околоземного космического пространства .....	166
6. МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ .....	189
6.1. Состояние атмосферного воздуха в России .....	189
6.2. Общая картина загрязнений атмосферного воздуха ....	201
6.3. Состояние атмосферы .....	214
6.4. Система мониторинга атмосферных загрязнений .....	232
6.5. Организация наблюдений и контроля загрязнений атмосферного воздуха .....	262



## ВВЕДЕНИЕ

Современное человечество, вооруженное техникой и использующее огромное количество энергии, является очень мощной силой, воздействующей на природу Земли. Если эти воздействия не учитывают природных законов и

разрушают установившиеся за миллионы лет связи, возникают катастрофические последствия. Люди уже столкнулись с целым рядом проблем, вызванных их деятельностью, и обеспокоены тенденцией нарастания неустойчивости природных систем.

***Проблемы экологии в России.*** Опираясь на мнения экспертов, было выявлено, что современная обстановка в области экологии становится с каждым годом всё более удручающей. Ухудшается состояние почв, загрязняются воды, опресняются моря, уменьшается количество зелёных насаждений, увеличивается уровень средней температуры, что приводит к таянию ледников, уменьшается защитный озоновый слой в атмосфере... Это далеко не окончательный перечень проблем современности, которые предстоит решить. Для поддержания состояния почв и очищения водоёмов, а также для устранения иных перечисленных выше проблем было решено провести экспертные действия продолжительностью в целый год. Благодаря данным мерам Правительство РФ намеревается в 2017 году, улучшить общую экологическую обстановку в стране, дабы не усугублять столь тревожные прогнозы экологов. Мероприятия, посвященные 2017 году экологии. На данный момент в России организовано более 13 тысяч особо охраняемых природных территорий, сокращённо ООПТ. Благодаря экспертной группе, которая будет учреждена в 2017 году, решено увеличить число ООПТ ещё на несколько сотен. В ходе планируемой программы проведутся около 168 предприятий, направленных на распространение информации о проблемах экологии. План мероприятий, включает в себя и организацию детских и юношеских фестивалей на данную тематику, а также иных просветительных действий. Создание всероссийского форума по ООПТ и решение проблем уменьшения количества млекопитающих также будет проводиться в течение всего 2017 года.

Одним из сторон рассматриваемого вопроса станет развитие заповедной системы в России. На данный момент на территории РФ существует 103 природных заповедника, которые в своей деятельности практикуют не только сохранение природного ландшафта и увеличения количества особей животного мира, но и поддержание популяций исчезающих видов, очищения природных источников воды, улучшение состояния состава воздуха. Главные цели экологических мероприятий в РФ Благодаря запланированным мероприятиям Правительство РФ намерено улучшить экологическую обстановку в стране, что непременно должно отразиться не только на общем состоянии здоровья данной территории, но и на отношении граждан к экологическим проблемам. Главным критерием продуктивного завершения поставленных целей станет сознательный подход и ответственное понимание всей остроты и важности поднимаемой проблемы экологии.

Экология в настоящее время приобретает огромное значение как наука, позволяющая найти пути выхода из возникающего кризиса. Только изучив существующие в природе закономерности, можно понять, каким образом организовать собственные отношения со средой обитания, по каким принципам развивать и использовать технический потенциал человечества. Современному специалисту в области электронных технологий необходимо уметь предвидеть последствия внедрения новых технологий, знать особенности поведения различных химических соединений при их попадании в окружающую среду, уметь оценивать антропогенное воздействие на биосферные процессы. свод основных современных знаний в области прикладной экологии.

***Россия является одной из наиболее загрязненных в экологическом плане стран в мире.*** Этому способствуют в первую очередь техногенные факторы, такие как вырубка лесов, загрязнение водоемов, почвы и атмосферы отходами заводского производства.

Глобальные экологические проблемы актуальны для России. Следует признать, что страна является одной из самых загрязненных в мире. Это сказывается на качестве жизни и пагубно влияет на здоровье людей. Возникновение экологических проблем в России, как и в других странах, связано с интенсивным влиянием

человека на природу, которое приобрело опасный и агрессивный характер. **Самые распространенные проблемы экологии России:**

1. **Загрязнение воздуха.** Выбросы промышленных отходов ухудшают состояние атмосферы. Негативно для воздуха сгорание автомобильного топлива, а также сжигание угля, нефти, газа, древесины. Вредные частицы загрязняют озоновый слой и разрушают его. Попадая в атмосферу, они вызывают кислотные дожди, которые в свою очередь загрязняют землю и водоемы. Все эти факторы являются причиной онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний населения, а также вымирания животных. Еще загрязнение воздуха способствует изменению климата, глобальному потеплению и увеличению ультрафиолетового солнечного излучения;

2. **Вырубка лесов.** В стране процесс вырубки лесных массивов практически бесконтрольный, в ходе чего вырубаются сотни гектаров зеленой зоны. Наиболее изменилась экология на северо-западе страны, а также становится актуальной проблема обезлесенья Сибири. Многие лесные экосистемы изменяются для создания сельскохозяйственных угодий. Это приводит к вытеснению многих видов флоры и фауны из мест их обитания. Нарушается круговорот воды, климат становится более сухим и образуется парниковый эффект;

3. **Загрязнение вод и почвы.** Промышленные и бытовые отходы загрязняют поверхностные и подземные воды, а также почву. Ситуацию ухудшает то, что в стране слишком малое количество водочистительных сооружений, а большинство эксплуатируемого оборудования устарело. Также сельскохозяйственная техника и удобрения истощают грунты. Существует еще одна проблема – это загрязнения морей разлившимися нефтепродуктами. Ежегодно реки и озера загрязняют отходы химической промышленности. Все эти проблемы ведут к дефициту питьевой воды, поскольку многие источники непригодны даже для применения воды в технических целях. Также это способствует разрушению экосистем, вымирают некоторые виды животных, рыб и птиц;

4. **Бытовые отходы.** В среднем на каждого жителя России приходится 400 кг твердых бытовых отходов в год. Единственный выход – это переработка отходов (бумага, стекло). Предприятий, которые занимаются утилизацией или переработкой отходов действует в стране очень мало;

**5. Радиоактивное загрязнение.** На многих атомных станциях оборудование устарело и ситуация приближается к катастрофической, ведь в любой момент может случиться авария. Кроме того, недостаточно утилизируются радиоактивные отходы. Радиоактивное излучение опасных веществ вызывает мутацию и гибель клеток в организме человека, животного, растения. Загрязненные элементы попадают в организм вместе с водой, едой и воздухом, откладываются, и последствия облучения могут проявиться спустя время;

**6. Уничтожение заповедных зон и браконьерство.** Эта незаконная деятельность ведет к гибели как отдельных видов флоры и фауны, так и уничтожению экосистем в целом.

Данное учебное пособие раскрывает проблемы окружающей среды, в первую очередь России, и показывает пути их решения. Учебное пособие предназначено для бакалавров, студентов, магистров и аспирантов, изучающих экологию и мониторинг окружающей среды, а также преподавателей средних и высших учебных заведений при разработке рабочих программ и компоновке лекционных курсов по мониторингу окружающей среды, а также для всех, кто интересуется проблемой сохранения окружающей среды и выживания человечества.

**Над разработкой учебного пособия активное участие принимали:** Преподаватели ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»: Кафедра почвоведения, экологии и природопользования: **Вершинин Валентин Валентинович**, доктор экономических наук, профессор; **Шапалов Дмитрий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор; **Широкова Вера Александровна**, доктор географических наук, профессор; **Хуторова Алла Олеговна**, кандидат географических наук, доцент; **Гуров Анатолий Федорович**, кандидат географических наук, доцент. Кафедра экономики недвижимости: **Клюшин Павел Владимирович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор; **Савинова Светлана Викторовна**, кандидат географических наук, доцент. Преподаватели ФГБОУ ВО «Дагестанский Государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова»: Кафедра кадастров и ландшафтной архитектуры: **Мусаев Магомед Расулович**, доктор биологических наук, профессор; **Магомедова Аминат Ахмедовна**, кандидат сельскохозяйственных, доцент; **Мусаева Зарема Магомедовна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

ГОД ЭКОЛОГИИ  
И ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ



*Работаем вместе для окружающей среды*

## 2017 ГОД ЭКОЛОГИИ В РОССИИ

Основной задачей проведения  
Года экологии является  
обеспечение экологической  
безопасности и сохранение  
уникальной природы России.

*Ключевые решения года* — внедрение наилучших доступных природоохранных технологий, улучшение экологических показателей регионов, совершенствование системы управления отходами, защита Байкальской природной территории, сохранение водных, лесных и земельных ресурсов, развитие заповедной системы.

**Главные задачи, которые предстоит решить в 2017 году:**

**Совершенствование законодательства.** В 2017 году будет осуществляться практическая реализация изменений законодательства в сфере экологии, которые разрабатывались в предшествующие годы.

Изменения затронут водный, лесной, земельный кодексы России и многие федеральные законы, регламентирующие данную сферу.

По этой причине 2017 станет годом экологических реформ. Произойдет совершенствование нормативно-правовых основ, регулирующих сферу экологии, и практическое применение уже разработанных норм.

**Переход на наилучшие доступные технологии.** В план Года экологии включено 64 природоохранных мероприятия, реализуемых 21 крупным предприятием в 22 субъектах Российской Федерации.

Планируемое снижение выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду составит свыше 70 тыс. тонн в год.

Минприроды России и Росприроднадзором уже подписано 25 соглашений о реализации экологических программ с предприятиями на сумму 24 млрд. руб. и планируется заключить еще 13 соглашений.

**Совершенствование управления отходами.** 2017 году в России будет рекультивировано более 20 полигонов бытовых отходов.

В десятках регионов будут открыты новые мусоросортировочные, мусороперерабатывающие комплексы и центры обращения с отходами. Во всех регионах страны будет

продолжено внедрение системы сбора ртутьсодержащих и опасных отходов.

В Московской области и Казани планируется запуск инновационного пилотного проекта «Нулевое захоронение отходов». Будет продолжено формирование рыночных условий для активного введения раздельного сбора отходов

***Особо охраняемые природные территории.*** В 2017 году будет создано 7 национальных парков 2 государственных природных заповедника и 2 федеральных заказника.

Произойдет расширение территории двух существующих ООПТ федерального значения: Национального парка «Русская Арктика» и Кавказского природного биосферного заповедника.

В течение ближайших 8 лет площадь федеральных ООПТ России увеличится на 18 %.

***Охрана лесных ресурсов и лесовосстановление.*** В 2017 году планируется восстановить 800 тыс. га лесов на территории страны. В том числе будет продолжено лесовосстановление на Байкальской природной территории, пострадавшей от природных пожаров 2015 года.

***Экологическое просвещение и региональные программы.*** В соответствии с планом мероприятий, в 2017 году будет проведен цикл всероссийских и региональных совещаний по обсуждению наиболее актуальных вопросов в сфере развития экологии.

Планируются к проведению циклы конференций, форумов и круглых столов. Пройдут экологические конкурсы среди школьников, фестивали и слёты, будут организованы фотовыставки, проведены волонтерские акции, организована работа детских и подростковых лагерей.

Особое внимание будет уделено освещению всех мероприятий в средствах массовой информации.

### **Цели и задачи:**

#### ***Главные задачи, которые предстоит решить:***

1. Совершенствование нормативно-правовых основ, регулирующих сферу охраны окружающей среды, и практическое применение тех поправок, которые уже были утверждены парламентским корпусом.

2. Улучшение экологических показателей.

3. Формирование активной гражданской позиции в сфере экологии у граждан РФ.

#### 4. Развитие системы заповедников России.

*На заметку:* В августе 2016 года президент страны завизировал указ о придании 2017 году статуса года охраны особых природных территорий. Это было сделано в честь 100-летнего юбилея Баргузинского заповедника. Это самый первый государственный заповедник во всей России. Находится он в Республике Бурятия.

Напомним, что сегодня систему особо охраняемых природных зон России образуют:

- 103 государственных природных заповедника;
- 64 заказника;
- 49 национальных парков.

Таким образом, это будет экологии сразу в двойном объеме – будет уделено внимание и совершенствованию экологической сферы в целом и, в отдельности, развитию системы заповедников.

**Ожидаемые изменения.** Эксперты сообщают, что именно в 2017 году начинается практическая реализация тех изменений законодательства в сфере экологии, которые рассматривались российскими парламентариями в предшествующие годы. Изменения затронут водный, лесной, земельный кодексы России и многие федеральные законы, регламентирующие данную сферу правоотношений. По этой причине в политических кругах следующий год гордо именуют «годом экологических реформ».

Какие именно перспективы нас ожидают? Произойдет существенное ужесточение нормативно-правовых норм, регламентирующих деятельность государственных и коммерческих структур в части их влияния на состояние окружающей среды. Новые условия должны будут побудить предприятия более ответственно относиться к вопросу необходимости охранять и оберегать от любого негативного воздействия все виды природных ресурсов.

В частности, начнут действовать поправки, внесенные в Федеральный закон «Об отходах» в части регулирования процесса выброса и сброса отходов в атмосферу и в водные объекты. Закон будет стимулировать предприятия использовать наилучшие технологии, доступные на сегодняшний день, которые причиняют природе наименьший вред.

**Мероприятия.** Год экологии в России подразумевает реализацию цикла мероприятий. В их проведении будут

задействованы все уровни власти: федеральный, региональный и муниципальный. Участие в обозначенных событиях примут широкие слои населения: школьники, сотрудники природоохранных объектов, волонтеры, активные граждане.

За формирование плана мероприятий и организацию их проведения, в соответствии с указом Президента, отвечает созданный распоряжением Администрации Президента России организационный комитет, в который вошли руководители федеральных и региональных органов властных структур, члены научного сообщества и представители некоторых организаций, осуществляющих деятельность в сфере экологии, в частности, сотрудники Русского географического общества.

Указом Президента организационному комитету поручено сформировать план мероприятий, которые будут проведены в 2017 году. 168 пунктов этого перечня уже известны – это те события, которые были запланированы к проведению еще в конце 2015 года в рамках реализации государственной программы «Охрана окружающей среды» на 2012-2020 годы.

В частности, будет проведен ряд всероссийских и региональных совещаний по обсуждению наиболее актуальных вопросов в сфере развития охраны природных ресурсов, цикл конференций, форумов и круглых столов. Будут утверждены и проведены всероссийские конкурсы: среди школьников всей страны, на выявление лучшего сотрудника природоохранных зон и т.д. Планируется организовать ряд фестивалей и слётов, будут организованы фотовыставки, проведены волонтерские акции, организована работа детских и подростковых лагерей. Одними из наиболее ярких событий являются подъем на гору Эльбрус и масштабный пробег по льду озера Байкал – ему организаторы планируют придать международный масштаб.

*На заметку: Особое внимание будет уделено освещению всех мероприятий в средствах массовой информации. Будет запущен ряд телевизионных и радиосюжетов. Соответствующие рубрики появятся в научно-популярных изданиях: в «National Geographic», «Вокруг света», «Гео», «Природа и человек XXI век». На Первом канале все заинтересованные граждане смогут посмотреть цикл документальных фильмов, посвященных российским природоохранным зонам.*

Полный перечень мероприятий, которые будут реализованы в 2017 году экологии в России, содержится в распоряжении Правительства России №2720-р.

**Мнение экспертов.** Напомним, что годом экологии в России был объявлен и не так давно ушедший 2013 год. По мнению Гринпис России, «на реальное состояние окружающей среды мероприятия, прошедшие в тот год, не повлияли».

Представители экспертного сообщества высказывают сомнения, что и грядущий год может остаться незамеченным широким массам и приобрести известность лишь в очень узких, преимущественно административных и политических кругах.

Однако эксперты высказывают надежду на то, что Год экологии, который также называется годом особо охраняемых природных территорий в России, все же принесет природе ощутимую пользу. Так, ожидается, что существенную помощь получат те объекты, расположенные на территории нашей страны, которые причислены к памятникам Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Кроме того, особо пристального внимания со стороны представителей власти сегодня требует решение следующих задач:

- внедрение системы отдельного сбора мусора;
- решение проблемы чрезвычайно высокого уровня загрязнения окружающей среды: как водных ресурсов, так и атмосферных слоев;
- начало использования возобновляемых энергетических ресурсов.

Если в ходе реализации плана мероприятий 2017 года экологии, провозглашенного указом Президента, будет положено начало решению данных задач, результативность данного проекта можно будет оценить положительно.



## 1. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ

Прежде чем решать вопросы мониторинга окружающей среды, необходимо полностью знать, что такое окружающая среда и в этом нам помогут знания о биосфере. Только хорошо зная окружающую среду,

то есть биосферу, можно решать вопросы ее мониторинга.

Составляя ничтожную долю биосферы – всего 0,0000025 ее массы (0,0001 долю живого существа), человек как биологический вид и одновременно с этим как уникальное социальное существо оказывает на биосферу огромное, несопоставимое по его месту на Земле воздействие, приближающееся по своей мощи к природным процессам. Это преобразующее, а нередко и разрушающее воздействие было названо В.И. Вернадским «геохимической деятельностью человека». Масштабы геохимической деятельности людей огромны, а время, в течение которого она протекает, ничтожно. Так, состав атмосферного воздуха в результате поступления в него антропогенного углекислого газа за последние 50 лет изменился больше, чем за всю предшествующую историю человеческого общества, за несколько столетий планета потеряла около 2/3 лесов, естественная структура почв разрушена на многих миллионах гектаров, значительные территории превращены в «лунные ландшафты» вследствие открытой разработки полезных ископаемых и т.д.

Сила и направленность геохимической деятельности человека не оставались неизменными. Они зависели как от количественного, так и от качественного развития человечества. Воздействие на природу людей каменного века, например, отличалось от современного антропогенного процесса не только чисто физическими характеристиками и параметрами, но и глубиной превращения вещества и энергии, характером последствий и т.д.

В настоящее время особенно напряженное положение сложилось в энергетическом балансе и биотическом кругообороте. Масштабы ежегодно изымаемого из природы вещества и возвращаемого ей уже в виде загрязнений, которые она не в состоянии включить в естественный кругооборот, лишь в несколько раз меньше ежегодной продуктивности биосферы.

За время своего существования человек сильно изменил биосферу. *По мнению Н.Ф. Реймерса, «люди искусственно и неском-*

*пенсированно снизили количество живого вещества Земли, видимо, не менее чем на 30 % и забирают в год не менее 20 % продукции всей биосферы».* Биосфера превращается в техносферу, причем направленность антропогенного воздействия прямо противоположна направленности эволюции биосферы. Можно сказать, что с появлением человека начинается нисходящая ветвь эволюции биосферы – снижается биомасса, продуктивность и информационность биосферы. Как полагает Реймерс, «вслед за прямым уничтожением видов следует ожидать самодеструкции живого. Фактически этот процесс и идет в виде массового размножения отдельных организмов, разрушающих сложившиеся экосистемы». Таким образом, пока еще нельзя ответить на вопрос, создаст ли в будущем человек сферу разума или своей неразумной деятельностью погубит и себя, и все живое.

С выходом человека в космос область взаимодействия человека с природной средой перестала ограничиваться сферой Земли. Возможно, в наше время было бы более точным понятие «ноосистема», а не «ноосфера», поскольку последняя после выхода людей в космос уже не соответствует пространственной конфигурации воздействия человека на природу. Понятие «ноосистема» предпочтительнее и в плане научного анализа экологической проблемы, так как оно ориентирует на применение развиваемого во второй половине XX в. Системного подхода к изучению объективной реальности.

Имеется еще одно важное соображение, не учтенное в концепции ноосферы. Человек взаимодействует со средой его обитания не только разумно, но и чувственно, поскольку он сам существо не только разумное, а разумно-чувственное, в котором разумный и чувственный компоненты сложным образом переплетены. Ноосферу не обязательно следует понимать, как некий экологический идеал, поскольку не всегда с экологической точки зрения хорошо то, что рационально, а само понятие разумного исторически изменчиво. Так, все современные технологические схемы, конечно же, по своему разумны и рациональны в традиционном смысле слова, но часто дают отрицательный экологический эффект.

В основе социальных воздействий человека на окружающую среду на протяжении последних столетий лежало осознание человеком своей растущей власти над природой. Современное состояние системы «человек–общество–природа» требует отказаться от потребительского и узко производственного отношения к окру-

жающей среде. Сегодня необходима научно обоснованная стратегия в системе «человек – общество – природа (биосфера)», направленная на преодоление опасного положения, когда создается реальная угроза разрушения биогенетических условий бытия человека. Созданная человеком материальная культура, как это не парадоксально, существует вопреки и благодаря природе.

Сохранение обеих сторон этого противоречия является условием сохранения созданной человечеством цивилизации. Осознание человеком социокультурных принципов отношения к природе может способствовать сохранению и воспроизводству биосферы и, в конечном счете, самого человека как биологического существа планеты. То, что на современном этапе взаимодействия общества и природы происходит обострение социоприродных противоречий – общепризнанный факт. Человечество стоит на грани экологической катастрофы. В связи с этим актуализируется необходимость изменения ориентиров социокультурного прогресса, что предполагает формирование экологической культуры, ориентирующей человека на коэволюционное развитие со своей природной средой обитания. В настоящее время под ноосферой понимают сферу взаимодействия человека и природы, в рамках которой определяющим фактором станет разумная человеческая деятельность.

Актуальность экологической тематики обусловила наличие широкого спектра учебников и учебных пособий по общей экологии для разных специальностей. Вместе с тем ориентация на самостоятельную работу студентов предполагает необходимость издания адаптированных учебных пособий, включающих в себя согласованные и достаточно компактные разделы как теоретической информации (на уровне конспектов лекций), так и прикладных задач, решение которых помогает более прочному освоению изложенной в первом разделе информации и приобретению навыков применения полученных знаний.

### **1.1. Учение о биосфере**

Термин «**биосфера**» был предложен и введен в геологию австрийским ученым и палеонтологом Э. Зюссом (1875 г.). Хотя ранее Ж.Б. Ламарк в биологии говорил о специфической оболочке, населенной живыми организмами – «области жизни». Современное **учение о биосфере** разработал академик Вернадский В.И. (рис. 1).



# В. И. Вернадский

(1863 - 1945)

Выдающийся русский ученый  
Академик, основоположник науки  
геохимии, создал учение о биосфере  
Земли

Всю массу организмов всех видов  
В. И. Вернадский назвал  
**живым веществом** Земли.

**Рис. 1. Владимир Иванович Вернадский – основоположник учения о биосфере**

**Биосфера** – это своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами

Земля сформировалась как планета ~4,7 млрд. лет назад. Масса Земли составляет  $6 \cdot 10^{21}$  т, объем –  $1,083 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup>, площадь поверхности  $510,2 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>.

**Наша планета состоит из концентрических оболочек (геосфер) – внутренних и внешних:**

- внутренние оболочки – это ядро, мантия.
- внешние оболочки – это литосфера, гидросфера, атмосфера, биосфера.

**Биосфера включает в себя следующие части:**

1. аэробiosфера – нижняя часть атмосферы до высоты 25–30 км (ограничена озоновым слоем);
2. гидробiosфера – гидросфера, совокупность всех вод Земли;
3. литобiosфера – верхние горизонты твердой земной оболочки литосферы (до глубины 3 км).

**В пределах этих частей биосферы выделяют две категории слоев:**

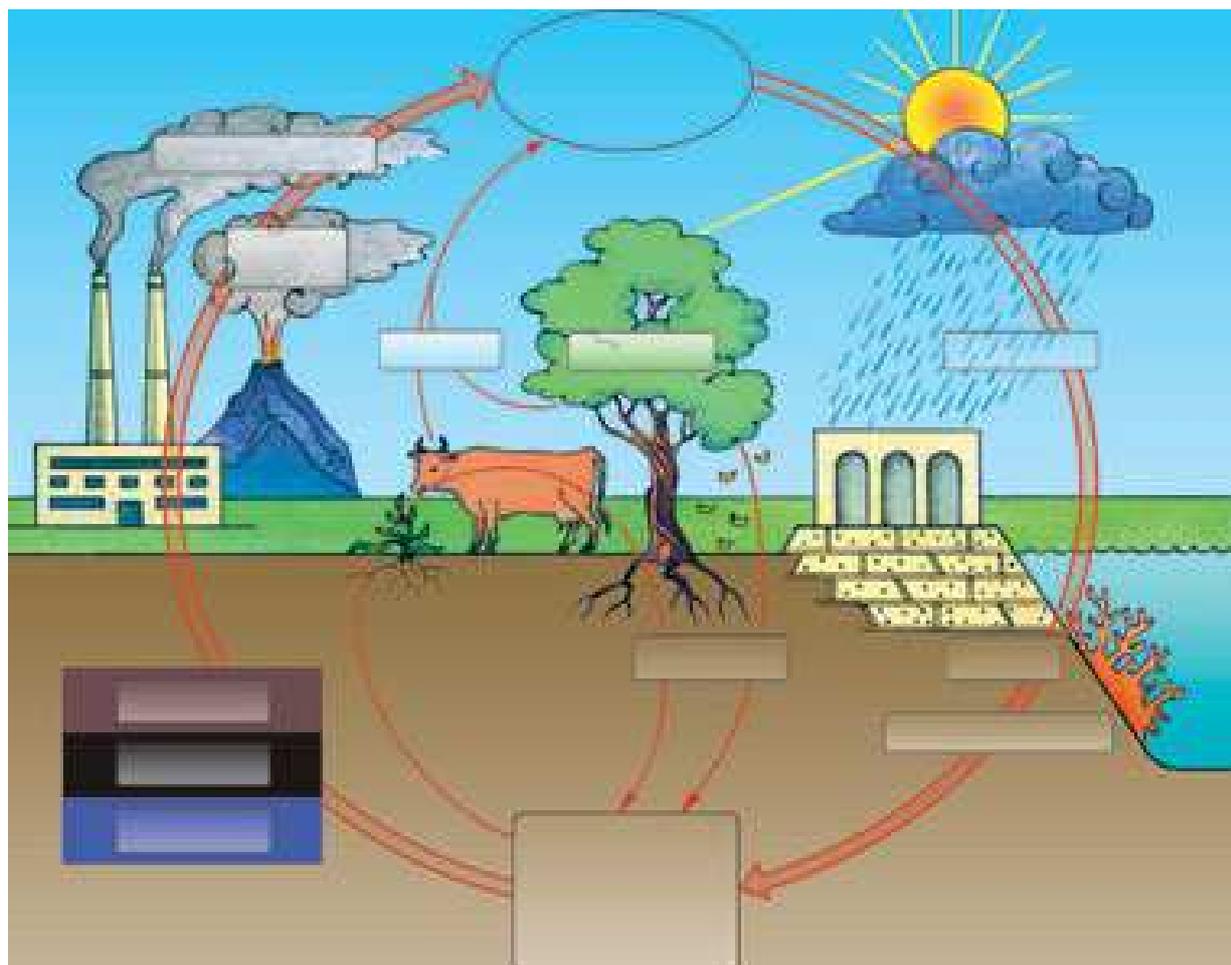
1. **эубиосфера** – собственно биосфера, где живое вещество локализовано постоянно;

2. слои, в которые живые организмы попадают случайно:

- **парабиосфера** (слой, расположенный выше эубиосферы);

- **метабиосфера** (слой, расположенный ниже биосферы).

Верхней границей биосферы является озоновый экран – слой атмосферы, расположенный на разной высоте от поверхности Земли и имеющий наибольшую плотность (концентрацию) озона на высоте 22–26 км (рис. 2).



**Рис. 2. Первичные представления о биосфере**

Высота озонового слоя у полюсов оценивается в 7–8 км, у экватора – 17–18 км, максимальная высота, где встречается озон, равна 45–50 км. Озоновый слой является преградой для мощного УФ-излучения Солнца, губительного для всего живого. Выше озонового слоя существование жизни без специальной защиты невозможно.

Если бы можно было извлечь весь озон, находящийся в атмосфере, и сжать под нормальным давлением, то получился бы слой,

покрывающий поверхность Земли с шириной всего 3 мм. Для сравнения, вся сжатая под нормальным давлением атмосфера составляла бы слой в 8 км.

Нижняя граница биосферы (метабиосфера) не опускается ниже 10–15 км. Обусловлена эта величина глубиной гидросферы и повышением температуры в литосфере: на глубине 3–3,5 км температура в земных недрах достигает 100 °С.

С учетом протяженности всех названных слоев мощность биосферы по вертикали оценивается в 33–35 км. Хотя реально границы распространения живых организмов намного уже (эубиосфера – 12–17 км).

**Категории веществ в биосфере.** Согласно учению Вернадского В.И. биосфера состоит из нескольких компонентов (рис. 3).

**1. Живое вещество** – совокупность живых организмов, населяющих планету Земля. Живое вещество или биотические компоненты биосферы включают в себя растения, животных и микроорганизмов. Суммарная масса живых организмов (биомасса) оценивается в  $\sim 2,42 \cdot 10^{12}$  т,  $\sim 97$  % которых составляют растения,  $\sim 3$  % – животные.

Если вещество распределить по всей поверхности планеты, то получится слой всего в полтора сантиметра. Эта «пленка жизни» составляет менее  $10^{-6}$  массы других оболочек Земли и является «одной из самых могущественных геохимических сил нашей планеты».

**2. Косное вещество** – неживое вещество, образованное процессами, в которых живое вещество участия не принимало (магматические породы).

**3. Биокосное вещество** – структура из живого и косного вещества, которая создается одновременно косными процессами и живыми организмами. Примером является почва, состоящая на 93 % из минеральных, косных веществ, на 7 % - из живых и биогенных веществ.

**4. Биогенное вещество** – вещество, которое возникло в результате разложения остатков живых организмов, но еще не полностью минерализовано (нефть, торф, уголь и др.)

**5. Радиоактивное вещество**

**6. Вещество космического происхождения** (метеориты)

**7. Рассеянные атомы**

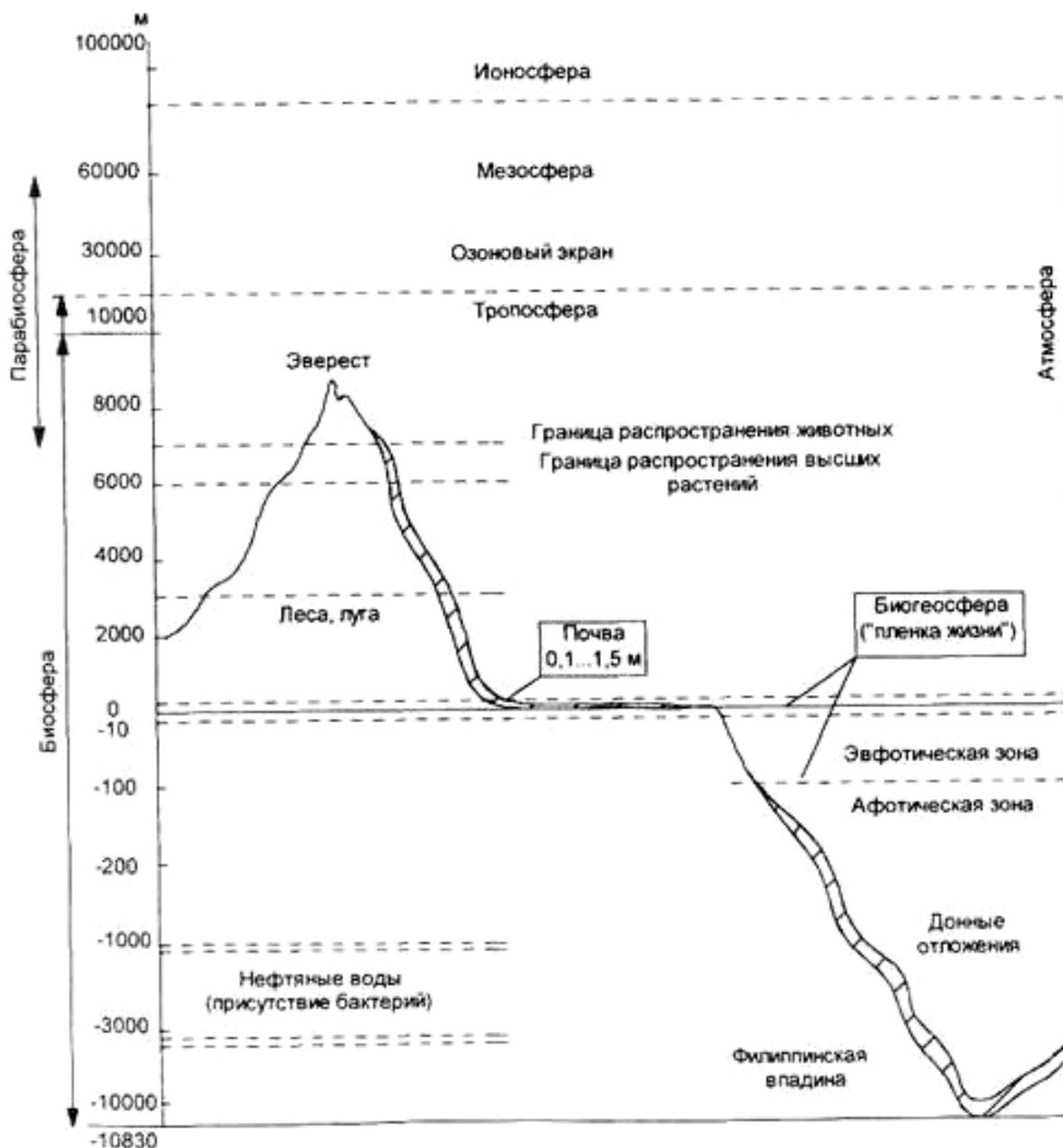


Рис. 3. Структура биосферы (по В.И. Вернадскому)

Все эти семь различных категорий веществ геологически связаны между собой.

**Сущность учения Вернадского В.И.** Вернадский обосновал важнейшие представления о формах превращения вещества, путях биогенной миграции атомов (т.е. миграции химических элементов при участии живого вещества), о движущих факторах эволюции.

**Главнейшие аспекты учения Вернадского:**

1. Представление о планетарной геохимической роли живого вещества. Живое вещество преобразует облик планеты. Именно живые организмы улавливают и преобразуют лучистую энергию Солнца и создают бесконечное разнообразие нашего мира.

2. Представление об организованности биосферы, являющейся продуктом сложного превращения вещественно-энергетического и информационного потоков живым веществом за время геологической истории Земли. Организованность проявляется в согласованном взаимодействии живого и неживого, взаимной приспособляемости организма и среды (рис. 4).



Рис. 4. Состав биосферы

*Классификация живого вещества по характеру питания (по трофическому статусу).* В любой экологической системе живое вещество по характеру питания или по трофическому статусу представлено двумя группами организмов:

1. **Автотрофы** – используют неорганические источники для своего существования, создавая органическую материю из неорганической. Это фотосинтезирующие зеленые растения, синезеленые водоросли, некоторые хемосинтезирующие бактерии.

**2. Гетеротрофы** – потребляют только готовые органические вещества – животные, человек, грибы и др.

**Классификация живого вещества по экологическим функциям.** Все живые организмы выполняют определенные экологические функции и делятся на три группы:

**1. Продуценты** – производители продукции (органических веществ), которой потом питаются остальные организмы (по типу питания — это автотрофы).

**2. Консументы** – потребители готовых органических веществ (гетеротрофы). По порядку в цепях питания различают консументов 1-го порядка – травоядных, 2-го порядка – плотоядных и т.д. до 5 порядков.

**3. Редуценты** – восстановители (гетеротрофы), в ходе своей жизнедеятельности превращают органические остатки в неорганические вещества, которыми могут опять питаться продуценты. Тем самым они завершают биохимический круговорот. Это грибы, бактерии, некоторые насекомые (рис. 5).

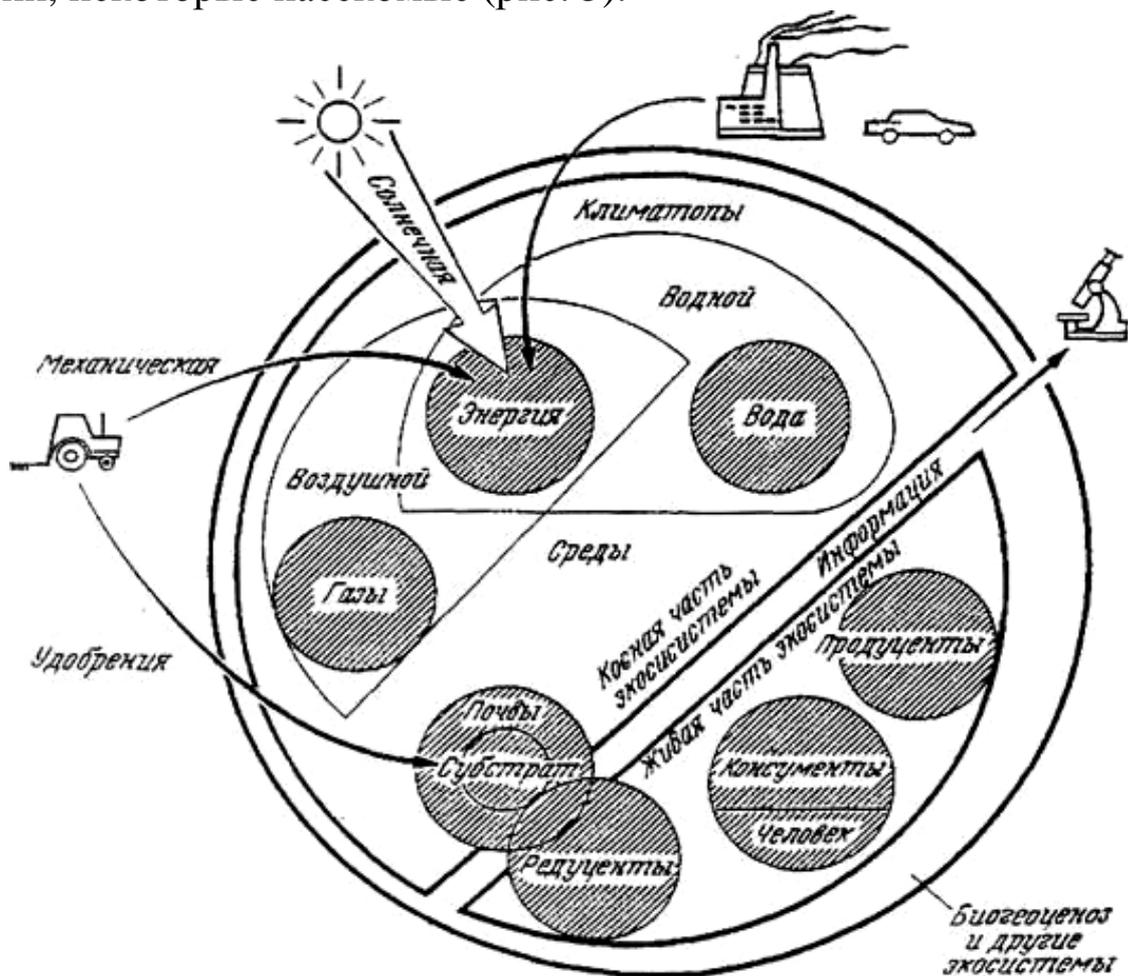
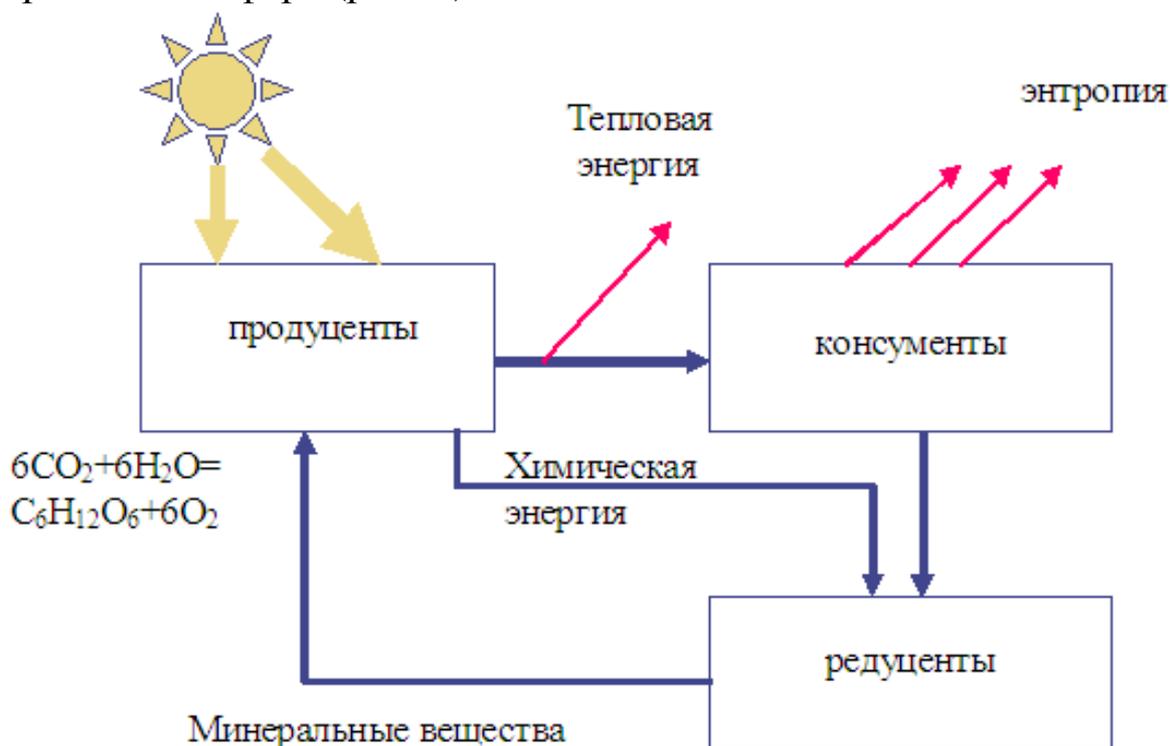


Рис. 5. Экологические компоненты (по Н.Ф. Реймерсу)

Процессы, протекающие в экосистеме (число живых организмов, скорость их развития и т.д.), зависят от циркуляции веществ в экосистеме. Рассмотрим схему, отражающую потоки вещества и энергии в биосфере (рис. 6).



**Рис. 6. Схема, отражающая потоки вещества и энергии в биосфере**

Биосфера является энергетически незамкнутой системой, в которой идет поглощение энергии из внешней среды. Непрерывный поток солнечной энергии воспринимается молекулами живых клеток и преобразуется в энергию химических связей. Так, например, при фотосинтезе из простых веществ создается органическое вещество:



Создаваемые таким образом химические вещества последовательно переходят от одних организмов к другим (от растений к растительноядным животным, затем к плотоядным и т.д.). Этот переход рассматривается как последовательный упорядоченный поток вещества и энергии.

***В любой экосистеме и в биосфере в целом действуют законы термодинамики.***

***I закон термодинамики*** – закон сохранения энергии: в любых процессах энергия не создается и не исчезает, а лишь переходит из одной формы в другую или от одного тела к другому, при этом ее значение сохраняется.

***II закон термодинамики*** – любое действие, связанное с преобразованием энергии, не может происходить без ее потери в виде рассеянного в пространстве тепла, т.е. 100 % переход одного вида энергии в другой невозможен.

Другими словами, энергия любой системы стремится к состоянию, называемому термодинамическим равновесием, что равнозначно максимальной энтропии. Энтропия рассматривается как мера неупорядоченности системы.

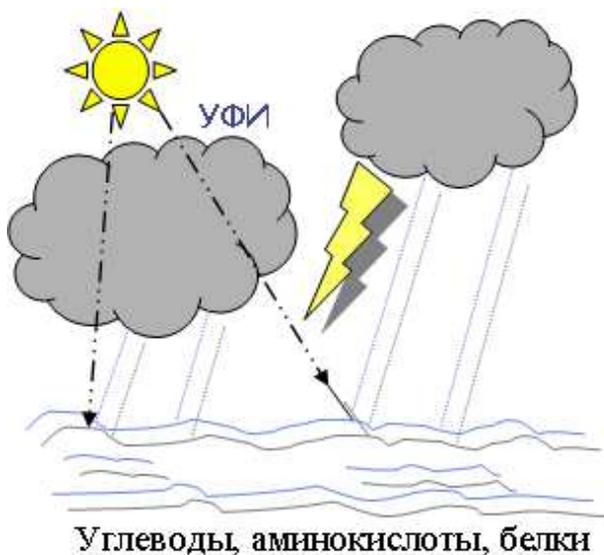
***Необходимость внешнего источника энергии.*** Часть потенциальной химической энергии пищи, высвобождаясь, позволяет организму осуществлять свои жизненные функции, и при этом теряется в виде тепла, увеличивая энтропию. Так как в соответствии с законом сохранения энергии общее количество энергии в системе должно быть постоянным, необходим внешний источник энергии – Солнце, за счет поступления энергии Солнца энтропия системы уменьшается. Упорядоченность деградировавших организмов и минеральных веществ повышается в процессе автотрофного питания растений в начале потока энергии (фотосинтез).

***Эволюция биосферы.*** Важнейшей частью учения Вернадского о биосфере является его представление о возникновении и развитии биосферы. Современная биосфера возникла не сразу, а в результате длительной эволюции, в процессе постоянного взаимодействия абиотических и биотических факторов. Основные этапы эволюции биосферы как глобальной среды жизни на Земле целесообразно рассмотреть с точки зрения закономерности и последовательности формирования основных сред жизни.

Возраст Земли составляет ~ 4,6–4,7 млрд. лет. В атмосфере древней Земли гремели грозы, ее пронизывало жесткое УФ-излучение Солнца, на планете извергались вулканы. Под влиянием этих воздействий образовывались органические соединения, которыми насыщались воды океана (рис. 7).

Атмосферными газами на данном историческом этапе были метан  $\text{CH}_4$ , аммиак  $\text{NH}_3$ , пары воды  $\text{H}_2\text{O}$ , азот  $\text{N}_2$ , углекислый газ  $\text{CO}_2$ , водород  $\text{H}_2$ . В атмосфере не было кислорода, а, следовательно, и озонового слоя, который мог защитить от жесткого УФ-излучения.

Жизнь могла существовать в бескислородной атмосфере только под защитой слоя воды. Слой воды толщиной 2–3 м поглощает кванты жесткого излучения, как и озоновый слой. Таким образом, древнейшая биосфера возникла в гидросфере, существовала в ее пределах и носила гетеротрофный характер. **Вода является первой средой жизни на Земле.**



**Рис. 7. Схема образования органических соединений**

~ 3,5 млрд. лет назад появились первые простейшие живые организмы, анаэробы, живущие в воде. Питались эти простейшие органическими веществами, содержащимися в воде.

Первыми автотрофами стали прокариоты – организмы, не обладающие оформленным клеточным ядром – синезеленые водоросли.

Побочным продуктом их жизнедеятельности был кислород.

1,5–2 млрд. лет назад появились одноклеточные эукариоты – живые организмы с обособленным клеточным ядром и внутриклеточными органоидами, произошел мощный популяционный взрыв автотрофных водорослей. Это привело к избытку кислорода в воде и его выделению в атмосферу.

1,4 млрд. лет назад – развиваются многоклеточные организмы – настоящие водоросли.

600 млн. лет назад содержание кислорода в атмосфере достигло 0,6 % (современный уровень ~ 21 %). Появляются губки, кораллы, черви, моллюски, первые позвоночные животные – рыбы. **Формируется вторая среда жизни – живой организм** (развиваются паразиты).

В результате выхода растений на сушу резко возрастает концентрация кислорода в атмосфере, становится возможным выход животных на сушу. **Происходит формирование еще двух сред жизни – почвы и воздушно-наземной среды.**

400–350 млн. лет назад концентрация кислорода достигла современного уровня (21 %). В этот период появляется наземная рас-

тельность, пресмыкающиеся, происходит бурный рост лесов, затем появляются первые насекомые, крупные животные (рис. 8).



**Рис. 8. Основные типы природных экосистем**

Таким образом, в пределах биосферы сформировались *четыре среды жизни*: две мертвые – вода и воздух, одна биокосная – почва и одна живая – живой организм.

Появление человека как биологического вида открывает социальный этап эволюции биосферы.

**Ноосфера.** Сегодняшний период развития биосферы называется техносферой. Этот этап ставит задачи срочного принятия мер по охране окружающей среды – внедрение малоотходных технологий, оборотного водоснабжения, рационального природопользования.

Следующий этап эволюции биосферы связан с ее переходом под влиянием разумной деятельности человека в состояние ноосферы, т.е. сферы разума. Это сфера взаимодействия природы и общества, в пределах которой разумная деятельность человека становится главным, определяющим фактором развития. Природные процессы обмена веществ и энергии будут контролироваться обществом.

Биосфера будет преобразовываться людьми соответственно познанным и освоенным законам ее строения и развития. Именно движение человечества к устойчивому развитию должно привести к достижению гармонии между Обществом и Природой, к формированию предсказанной Вернадским В.И. сферы разума.

**Понятие об автотрофности человека.** Вернадскому принадлежит идея о возможности перехода человеческого общества из гетеротрофной категории в социально автотрофную. Здесь понятие «автотрофность» означает относительную независимость человека от продуктов, создаваемых биосферой. В силу своих биологических особенностей человек не может перейти к автотрофной ассимиляции, но общество способно осуществлять так называемый автотрофный способ производственной деятельности, под которым подразумевается замена высокомолекулярных природных соединений низкомолекулярными. Подобное функционирование общества может быть минимально связано с нарушением природной среды.

## **1.2. Экологические факторы**

**Экологические факторы** – это определенные условия и элементы среды, которые оказывают специфическое воздействие на живой организм. Организм реагирует на действие экологических факторов приспособительными реакциями. Экологические факторы определяют условия существования организмов.

**Классификация экологических факторов (по происхождению):**

**1. Абиотические факторы** – это совокупность факторов неживой природы, влияющих на жизнь и распространение живых организмов. Среди них различают:

**1.1. Физические факторы** – такие факторы, источником которых служит физическое состояние или явление (например, температура, давление, влажность, движение воздуха и др.).

**1.2. Химические факторы** – такие факторы, которые обусловлены химическим составом среды (соленость воды, содержание кислорода в воздухе и др.).

**1.3. Эдафические факторы (почвенные)** – совокупность химических, физических, механических свойств почв и горных пород, оказывающих воздействие как на организмы, для которых они являются средой обитания, так и на корневую систему растений

(влажность, структура почвы, содержание биогенных элементов и др.).

**2. Биотические факторы** – совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других, а также на неживую компоненту среды обитания.

2.1. *Внутривидовые взаимодействия* характеризуют взаимоотношения между организмами на популяционном уровне. В основе их лежит внутривидовая конкуренция.

2.2. *Межвидовые взаимодействия* характеризуют взаимоотношения между различными видами, которые могут быть благоприятными, неблагоприятными и нейтральными. Соответственно, обозначим характер воздействия +, – или 0. Тогда возможны следующие типы комбинаций межвидовых взаимоотношений:

**00 нейтрализм** – оба вида независимы и не оказывают никакого действия друг на друга; в природе встречается редко (белка и лось, бабочка и комар);

**+0 комменсализм** – один вид извлекает пользу, а другой не имеет никакой выгоды, вреда тоже; (крупные млекопитающие (собаки, олени) служат разносчиками плодов и семян растений (репейник), не получая ни вреда, ни пользы);

**–0 аменсализм** – один вид испытывает от другого угнетение роста и размножения; (светлюбивые травы, растущие под елью, страдают от затенения, а самому дереву это безразлично);

**++ симбиоз** – взаимовыгодные отношения:

• **мутуализм** – виды не могут существовать друг без друга; *инжир и опыляющие его пчелы; лишайник;*

• **протокооперация** – совместное существование выгодно обоим видам, но не является обязательным условием выживания; *опыление пчелами разных луговых растений;*

**– – конкуренция** – каждый из видов оказывает на другой неблагоприятное воздействие; (растения конкурируют между собой за свет и влагу, т.е. когда используют одни и те же ресурсы, тем более, если они недостаточны);

**+ – хищничество** – хищный вид питается своей жертвой;

**+ – паразитизм** – паразит тормозит рост и развитие своего хозяина и может вызвать его гибель.

2.3. *Воздействие на неживую природу* (микроклимат). Например, в лесу под влиянием растительного покрова создаётся особый микроклимат, или микросреда, где по сравнению с открытым ме-

стообитанием создаётся свой температурно–влажностной режим: зимой здесь на несколько градусов теплее, летом – прохладнее и влажнее. Особая микросреда создаётся также в кроне деревьев, в норах, в пещерах и т. п.

**3. Антропогенные факторы** – факторы, порожденные деятельностью человека и воздействующие на окружающую природную среду: непосредственное воздействие человека на организмы или воздействие на организмы через изменение человеком их среды обитания (загрязнение окружающей среды, эрозия почв, уничтожение лесов, опустынивание, сокращение биологического разнообразия, изменение климата и др.). Выделяют следующие группы антропогенных факторов:

- изменение структуры земной поверхности;
- изменение состава биосферы, круговорота и баланса, входящего в нее вещества;
- изменение энергетического и теплового баланса отдельных участков и регионов;
- изменения, вносимые в биоту.

Существует и другая классификация экологических факторов. Большинство факторов качественно и количественно изменяется во времени. Например, климатические факторы (температура, освещённость и др.) меняются в течение суток, сезона, по годам. Факторы, изменение которых во времени повторяется регулярно, называют *периодическими*. К ним относятся не только климатические, но и некоторые гидрографические – приливы и отливы, некоторые океанские течения. Факторы, возникающие неожиданно (извержение вулкана, нападение хищника и т.п.) называются *непериодическими*.

**Закономерности действия экологических факторов.** Влияние экологических факторов на живые организмы характеризуется некоторыми количественными и качественными закономерностями.

Немецкий агрохимик Ю. Либих, наблюдая за влиянием на растения химических удобрений, обнаружил, что ограничение дозы любого из них ведет к замедлению роста. Эти наблюдения позволили ученому сформулировать правило, которое носит название закона минимума (1840 г.).

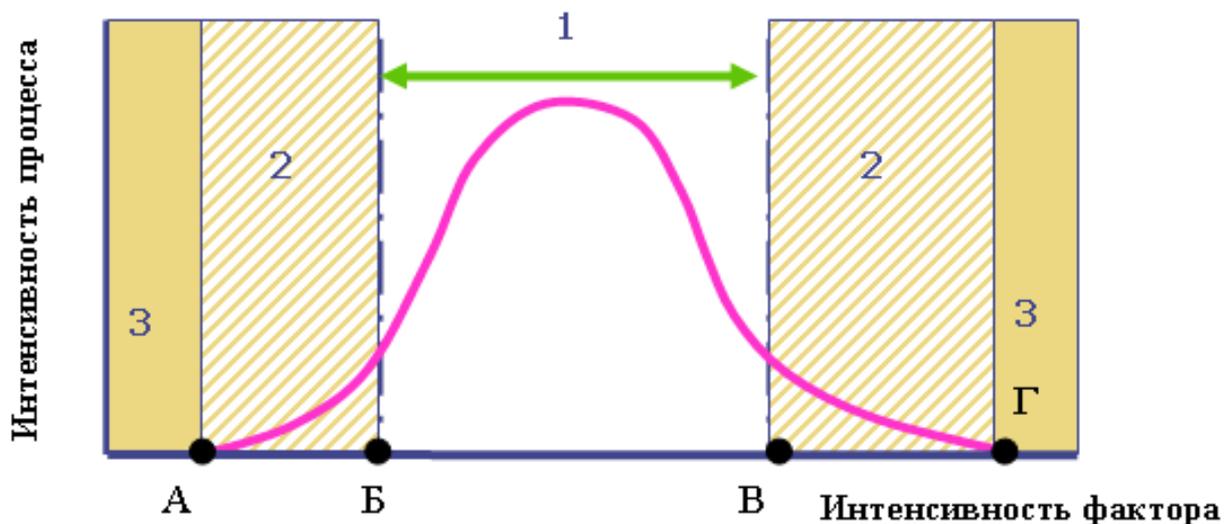
**Закон минимума:** жизненные возможности организма (урожай, продукция) зависят от фактора, количество и качество которого близко к необходимому организму или экосистеме минимуму (не-

смотря на то, что другие факторы могут присутствовать в избытке и не использоваться в полной мере). Те же самые вещества, находясь в избытке, также снижают урожай. Продолжая исследования, в 1913 г. американский биолог В. Шелфорд сформулировал закон толерантности.

**Закон толерантности:** жизненные возможности организма определяются экологическими факторами, находящимися не только в минимуме, но и в максимуме, то есть определять жизнеспособность организма может как недостаток, так и избыток экологического фактора. Например, недостаток воды затрудняет ассимиляцию минеральных веществ растением, а избыток вызывает гниение, закисание почвы.

Факторы, сдерживающие развитие организма из-за их недостатка или избытка по сравнению с потребностью (оптимальным содержанием), называются *лимитирующими*.

В характере воздействия экологических факторов на организм и в ответных реакциях можно выявить ряд общих закономерностей, которые укладываются в некоторую общую схему действия экологического фактора на жизнедеятельность организма (рис. 9).



**Рис. 9.** Схема действия экологического фактора на живые организмы: *1* – оптимум, зона нормальной жизнедеятельности, *2* – зона пониженной жизнедеятельности (угнетение), *3* – зона гибели

На данном рисунке по оси абсцисс отложена интенсивность фактора (например, температура, освещенность и т.д.), а по оси ординат – реакция организма на воздействие экологического фактора (например, скорость роста, продуктивность и т.д.).

Диапазон действия экологического фактора ограничен пороговыми значениями (точки А и Г), при которых еще возможно существование организма. Это нижняя (А) и верхняя (Г) границы жизнедеятельности. Точки Б и В соответствуют границам нормальной жизнедеятельности.

***Действие экологического фактора характеризуется наличием трех зон, образованных характерными пороговыми точками:***

1 – зона оптимума – зона нормальной жизнедеятельности,

2 – зоны стресса (зона минимума и зона максимума) – зоны нарушения жизнедеятельности вследствие недостатка или избытка фактора,

3 – зона гибели.

При минимуме и максимуме фактора организм может жить, но не достигает расцвета (стрессовые зоны). Диапазон между минимумом и максимумом фактора определяет величину толерантности (устойчивости) к данному фактору (***толерантность*** – способность организма выносить отклонения значений экологических факторов от оптимальных для него).

***Адаптация живых организмов к экологическим факторам.***

***Адаптация*** – это процесс приспособления организма к определенным условиям окружающей среды. Особи, не приспособленные к данным или изменяющимся условиям, вымирают. ***Основные типы адаптации:***

- поведенческая адаптация (затаивание у жертв, выслеживание добычи у хищников);

- физиологическая адаптация (зимовка – спячка, миграция птиц);

- морфологическая адаптация (изменение жизненных форм растений и животных – у растений в пустыне нет листьев, у водных организмов строение тела приспособлено к плаванию).

***Экологическая ниша*** – это совокупность всех факторов и условий среды, в пределах которых может существовать вид в природе.

***Фундаментальная экологическая ниша*** определяется физиологическими особенностями организмов.

***Реализованная ниша*** представляет собой условия, при которых вид реально встречается в природе, это часть фундаментальной ниши.

***Абиотические факторы наземной среды (климатические).***

***Температура*** – важнейший из лимитирующих факторов. Любой

организм способен жить только в пределах определенного интервала температур. Пределы температурной выносливости различны.

- Горячие источники Камчатки,  $t > 80^{\circ} \text{C}$  – насекомые, моллюски.

- Антарктида,  $t$  до  $-70^{\circ} \text{C}$  – водоросли, лишайники, пингвины.

**Свет** – это первичный источник энергии, без которого невозможна жизнь на Земле. Свет участвует в процессе фотосинтеза, обеспечивая создание растительностью органических соединений из неорганических. В этом заключается его важнейшая экологическая функция.

- Область физиологически активной радиации –  $\lambda = 380\text{--}760 \text{ нм}$  (видимая часть спектра).

- Инфракрасная область спектра  $\lambda > 760 \text{ нм}$  (источник тепловой энергии).

- Ультрафиолетовая область спектра  $\lambda < 380 \text{ нм}$ .

Интенсивность освещения имеет важное значение для живых организмов, особенно для растений. Так, по отношению к освещенности растения подразделяются на светолюбивые (не выносят тени), тенелюбивые (не выносят яркого солнечного света), теневыносливые (имеют широкий диапазон толерантности). На интенсивность света влияет широта местности, время дня и года, а также наклон поверхности по отношению к горизонтали.

Организмы физиологически адаптированы к смене дня и ночи. Практически у всех живых организмов существуют суточные ритмы активности, связанные со сменой дня и ночи.

Организмы приспособлены к сезонным изменениям длины дня (начало цветения, созревания).

**Количество осадков.** Для живых организмов важнейшим лимитирующим фактором является распределение осадков по сезонам года. Этот фактор определяет разделение экосистем на лесные, степные и пустынные. Так, если количество осадков составляет  $> 750 \text{ мм/год}$  – формируются леса,  $250\text{--}750 \text{ мм/год}$  – степи (злаковые),  $< 250 \text{ мм/год}$  – пустыни (кактусы  $50\text{--}100 \text{ мм/год}$ ). Максимальное количество осадков характерно для тропических влажных лесов  $2500 \text{ мм/год}$ , минимальное количество зарегистрировано в пустыне Сахара –  $0,18 \text{ мм/год}$ .

Осадки – это одно из звеньев круговорота воды на Земле. Режим осадков определяет миграцию загрязняющих веществ в атмосфере.

Среди других климатических факторов, оказывающих существенное воздействие на живые организмы, можно назвать влажность воздушной среды, движение воздушных масс (ветер), атмосферное давление, высота над уровнем моря, рельеф местности.

**Абиотические факторы почвенного покрова.** Абиотические факторы почвенного покрова называют эдафическими (от греч. *edaphos* – почва).

**Почва** – это особое природное образование, возникшее в результате изменения поверхностного слоя литосферы совместным воздействием воды, воздуха и живых организмов. Почва является связующим звеном между биотическим и абиотическим факторами биогеоценоза.

Важнейшее свойство почвы – плодородие, то есть ее способность удовлетворять потребность растений в питательных веществах, воздухе и других факторах, и на этой основе обеспечивать урожай сельскохозяйственных культур, а также продуктивность диких форм растительности.

#### **Свойства почвы:**

**Физические характеристики:** структура, пористость, температура, теплоемкость, влажность.

Обычно частицы, составляющие почву, делят на глину (мельче 0,002 мм в диаметре), ил (0,002–0,02 мм), песок (0,02–2,0 мм) и гравий (больше 2 мм). Механическая структура почвы имеет очень важное значение для сельского хозяйства, определяет усилия, требуемые для обработки почвы, необходимое количество поливов и т. п. Хорошие почвы содержат примерно одинаковое количество песка и глины; они называются суглинками. Преобладание песка делает почву более рассыпчатой и лёгкой для обработки; с другой стороны, в ней хуже удерживается вода и питательные вещества. Глинистые почвы плохо дренируются, являются сырыми и клейкими, но содержат много питательных веществ и не выщелачиваются. Каменистость почвы (наличие крупных частиц) влияет на износ сельскохозяйственных орудий.

**Химические характеристики:** реакция среды, степень засоления, химический состав.

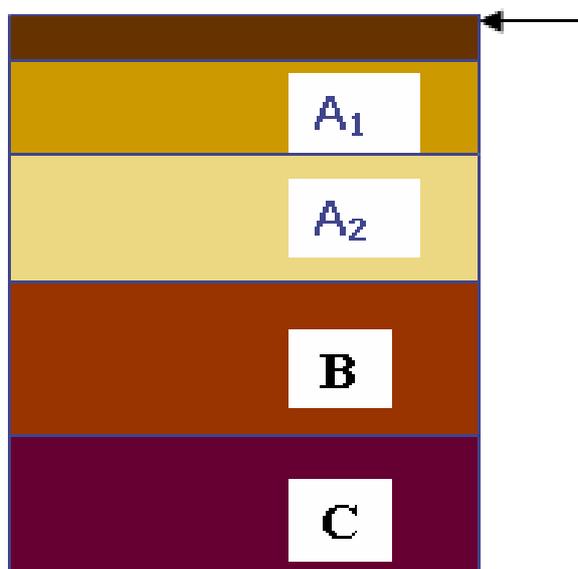
$pH = -\lg H$ ,  $pH = 7$  – нейтральная среда,  $pH < 7$  – кислая,  $pH > 7$  – щелочная.

По химическому составу минеральной компоненты почва состоит из песка и алеврита [формы кварца (кремнезёма)  $SiO_2$  с добавка-

ми силикатов ( $\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_3$ ,  $\text{Fe}_4(\text{SiO}_4)_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) и глинистых минералов (кристаллические соединения силикатов и гидроксида алюминия)].

**Биологические характеристики:** живые организмы черви, населяющие почву (грибы, бактерии, водоросли).

**Почвенный профиль:** Почвообразование происходит сверху вниз, это отражается в почвенном профиле. В результате перемещения и превращения веществ почва расчленяется на отдельные слои или горизонты, сочетание которых составляет профиль почвы. В почвенном профиле выделяют три горизонта (рис. 10).



**Рис. 10. Схема почвенного профиля:**

*A – перегнойно-аккумулятивный горизонт; B – горизонт вымывания; C – материнская порода*

1. **A** – перегнойно-аккумулятивный горизонт (до нескольких десятков см), который подразделяется на три подгоризонта:

$A_0$  – подстилка (дернина): свежесопавшие листья и разлагающиеся растительные и животные остатки;

$A_1$  – гумусовый горизонт: смесь частично разложившейся органики, живых организмов и неорганических веществ;

$A_2$  – элювиальный горизонт (вымывания): соли и органические вещества выщелачиваются, вымываются и вмываются в горизонт B.

2. **B** – иллювиальный горизонт (вымывания): здесь органические вещества перерабатываются редуцентами в минеральную форму, происходит накопление минеральных веществ (карбонатов, гипса, глинистых минералов).

3. **C** – материнская порода (горная).

**Абиотические факторы водной среды.** Вода занимает преобладающую часть земной поверхности – 71 %.

**Плотность.** Водная среда очень своеобразна, например, плотность воды в 800 раз больше плотности воздуха, а вязкость – в 55 раз. Это влияет на образ жизни и жизненные формы ее обитателей.

**Теплоемкость.** Обладая высокой теплоемкостью, вода является главным приемником и аккумулятором солнечной энергии.

**Подвижность** способствует поддержанию относительной гомогенности физических и химических свойств.

**Температура.** Температурная стратификация (изменение температуры по глубине) оказывает влияние на размещение в воде живых организмов, на перенос и рассеивание примесей. Существуют периодические изменения температуры воды (годовые, суточные, сезонные).

**Прозрачность** воды определяется световым режимом над поверхностью воды и зависит от содержания взвешенных веществ. От прозрачности зависит фотосинтез растений.

**Соленость.** Содержание в воде карбонатов, сульфатов, хлоридов имеет большое значение для живых организмов. В пресных водах солей мало, в основном это карбонаты. В морских водах преобладают сульфаты и хлориды. Содержание солей в водах Мирового океана – 35 г/л, в Черном море – 19, в Каспийском море – 14, в Мертвом море – 240 г/л.

### 1.3. Экологические системы

**Экологическая система** – это взаимосвязанная, единая функциональная совокупность живых организмов и среды их обитания. Составными частями экосистемы являются **биоценоз** (совокупность живых организмов) и **биотоп** (место их жизни, неживые компоненты): **экосистема = биоценоз + биотоп**.

Термин «экосистема» предложен в 1935 г. английским экологом А. Тенсли. Экосистема – понятие очень широкое и применимо как к естественным, так и к искусственным комплексам. Для обозначения природных экосистем используется термин «биогеоценоз» (Сукачев В.Н.).

**Классификация природных экосистем** базируется на ландшафтном подходе. Ландшафт – природный географический комплекс, в котором все основные компоненты (рельеф, верхние горизонты литосферы, климат, воды, почвы, растительность, животный мир) находятся в сложном взаимодействии, образуя однородную по условиям развития единую систему (рис. 11).

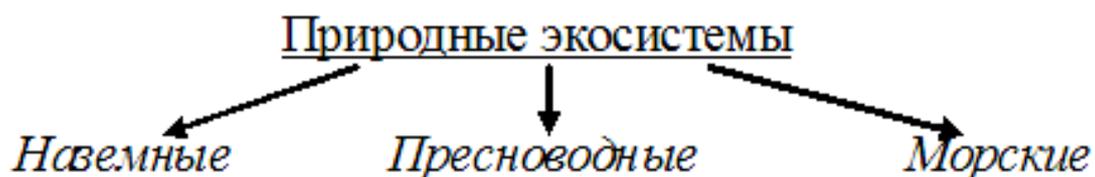


Рис. 11. Составные части природных экосистем

**Наземные природные экосистемы:** тундра (арктическая и альпийская), бореальные хвойные леса, листопадный лес умеренной зоны, степи, саванны, пустыня, тропический лес. Основными лимитирующими факторами суши являются среднегодовая температура и количество осадков (рис. 12).

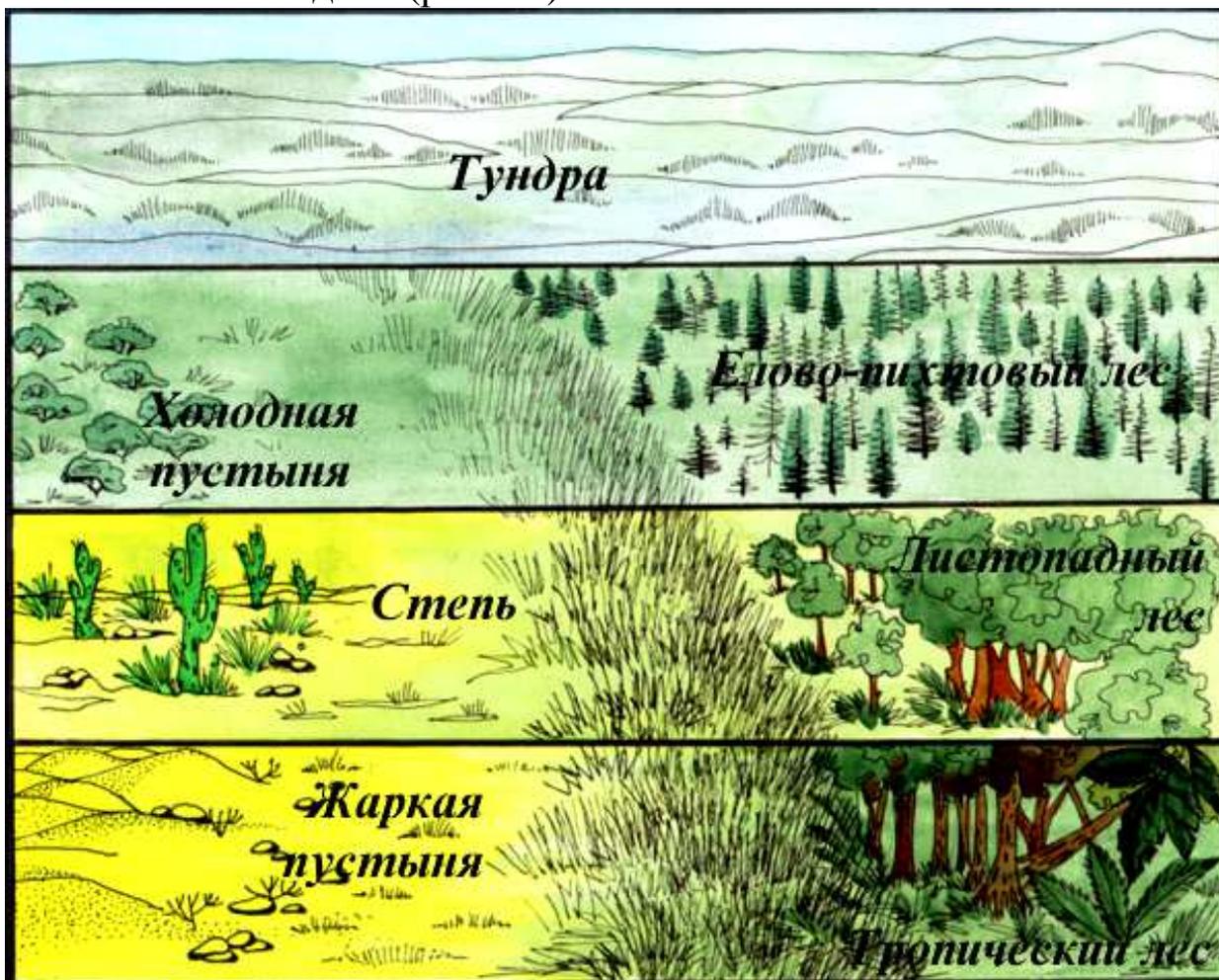


Рис. 12. Формирование наземных природных систем в зависимости от среднегодовой температуры и количества осадков

**Пресноводные экосистемы** подразделяются на:

- лентические (стоячие водоемы) – озера, пруды, водохранилища;
- лотические (проточные водоемы) – реки, ручьи;

- болота.

Лимитирующие факторы водной среды: течение, глубина (увеличивается давление, уменьшается прозрачность), температура.

**Проточные водоемы** имеют две зоны:

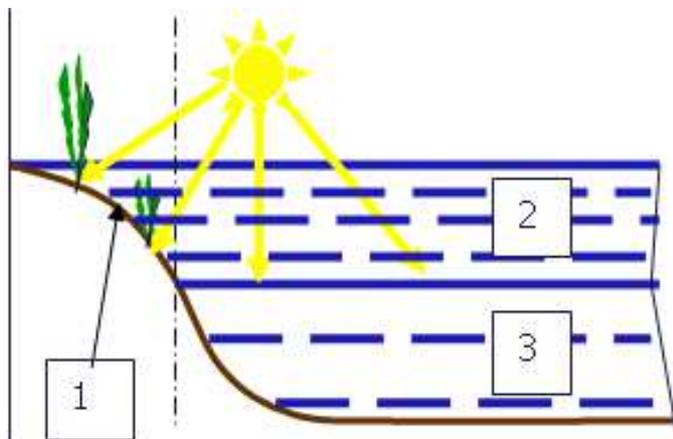
- мелководные перекаты (с быстрым течением);
- глубоководные плёсы (спокойные реки).

**Основные зоны в экосистеме непроточного водоема.** В непроточном водоеме выделяют следующие зоны (рис. 13):

1 – литоральная зона – толща воды, где свет проникает до дна,

2 – лимническая зона – толща воды до глубины, куда проникает 1 % солнечного света и где затухает фотосинтез,

3 – профундальная зона – дно и толща воды, куда не проникает солнечный свет.



**Рис. 13. Структура непроточного водоема**

Каждой из этих зон свойственны свои обитатели и свои сообщества организмов. В зависимости от глубины и строения водоема профундальная зона и литоральная зона могут отсутствовать.

**Морские экосистемы:** открытый океан, область континентального шельфа (прибрежные воды), эстуарии, глубоководные зоны

**Эстуарии** – это прибрежные области смешивания речных вод с морскими.

**Лимитирующие факторы:** соленость, глубина, прозрачность, температура.

В морских формациях выделяют две зоны: пелагиаль – поверхностные слои воды и бенталь – морское дно, заселенное донными организмами (бентосом).

**Структура водной и наземной экосистем.** Как водная, так и наземная экосистемы отличаются пространственной и видовой структурой. Пространственная структура характеризуется вертикальным расслоением системы на ярусы. Например, в лесу выделяют до 6 ярусов. Ярусно располагаются и подземные части растений. Растения каждого яруса обуславливают особый микроклимат и

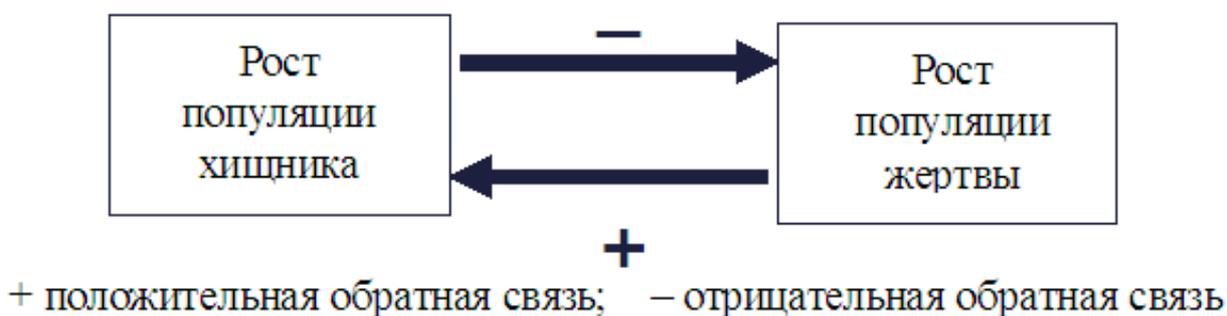
создают определенную среду (экологическую нишу) для обитания в ней строго специфических животных (табл. 1).

**Таблица 1. Классификация экологических факторов среды**

Абиотические	Биотические
Климатические: свет, температура, влага, движение воздуха, давление	Фитогенные: растительные организмы
Эдафогенные («эдафос» — почва): механический состав, влагоемкость, воздухопроницаемость, плотность	Зоогенные: животные
Орографические: рельеф, высота над уровнем моря, экспозиция склона	Микробиогенные: вирусы, простейшие, бактерии, риккетсии
Химические: газовый состав воздуха, солевой состав воды, концентрация, кислотность и состав почвенных растворов	Антропогенные: деятельность человека (в том числе строительная)

**Гомеостаз экосистемы.** Естественным экосистемам присуща определенная стабильность во времени и пространстве, эта стабильность не является постоянной, а имеет определенную подвижность и называется гомеостазом.

**Гомеостаз** – способность экосистем (организмов, популяций) противостоять изменениям и сохранять равновесие. Гомеостаз обеспечивается механизмами обратной связи. Например, рассмотрим условную экосистему, состоящую из двух популяций – жертвы и хищника (рис. 14).



**Рис. 14. Система «хищник-жертва»**

Управление в системе осуществляется посредством положительных и отрицательных связей. Численность жертвы растет – численность хищника тоже увеличивается (+). Но поскольку хищник питается жертвой, то он снижает численность жертвы (–). Имеет место эффект саморегуляции. Нарушение сбалансированности системы могут вызвать другие факторы (засуха, вмешательство человека).

**Сукцессия.** Несмотря на то, что естественная экосистема находится в состоянии подвижно-стабильного равновесия, она испытывает медленные, но постоянные изменения во времени, имеющие последовательный характер, касающиеся в первую очередь биоценоза.

Сукцессия – последовательная смена биоценозов на одной и той же территории. Изменения происходят медленно, на всех стадиях процесса экосистема сбалансирована.

**Виды сукцессии: Первичная сукцессия** – процесс развития и смены биоценозов на незаселенных ранее участках:

голая скала → лишайники → мхи → травы → лес.

**Вторичная сукцессия** происходит на месте сформировавшегося биоценоза после его нарушения по какой-либо причине (пожар, вырубка леса, засуха).

**Трофические цепи и сети.** Жизнь на Земле существует за счет солнечной энергии. Фотосинтезирующие растения создают органическое вещество, которым питаются другие организмы.

Цепь последовательной передачи вещества и эквивалентной ему энергии от одних организмов к другим называется **трофической цепью**.

**Трофический уровень.** Простейшая цепь питания состоит из трех основных звеньев: продуценты, консументы, редуценты.

В каждой цепи питания формируются определенные трофические уровни, которые характеризуются различной интенсивностью протекания потоков веществ и энергии. Зеленые растения (продуценты) образуют 1-й трофический уровень, фитофаги (растительоядные консументы) – 2-й, плотоядные консументы (хищники) – 3-й. При передаче энергии с одного трофического уровня на другой происходит ее потеря (затраты на дыхание, рост), поэтому цепи питания состоят из 4–6 звеньев.

В природе трофические цепи связаны между собой общими звеньями и образуют трофические сети.

**Продуктивность экосистемы.** Это скорость, с которой продуценты усваивают лучистую энергию в процессе фотосинтеза и хемосинтеза, образуя органическое вещество, которое может быть использовано в качестве пищи другими организмами (биомасса, производимая на единице площади в единицу времени). Продуктивность может выражаться в единицах массы, энергии, числа особей. **Различают первичную и вторичную продуктивность:**

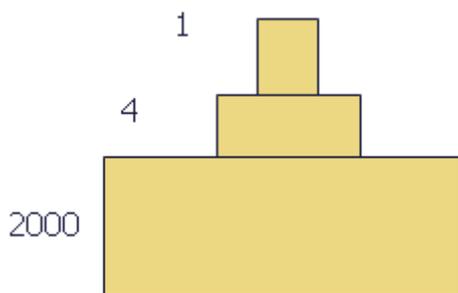
**Первичная продукция** – органическая масса, создаваемая продуцентами в единицу времени.

**Вторичная продукция** – прирост массы консументов за единицу времени.

Продуктивность биосферы – 164 млрд т сухого органического вещества в год.

Продуктивность экосистем выражается в виде экологических пирамид.

**Экологические пирамиды** представляют собой графическое изображение функциональной взаимосвязи в экосистеме. Известно три основных типа экологических пирамид: пирамида численности, пирамида биомассы и пирамида энергии (рис. 15, 16, 17, 18).



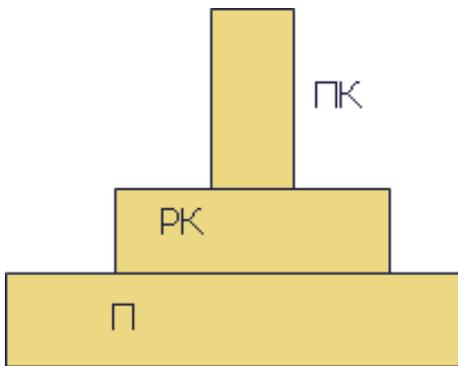
**Рис. 15. Пирамида численности (пирамида Элтона)**

**Пирамида численности** (пирамида Элтона) отражает численность организмов на каждом уровне. Существует следующая закономерность: количество особей, составляющих последовательный ряд звеньев от продуцентов к консументам, неуклонно уменьшается. В пирамидах численности живые организмы, имеющие различную массу, учитываются одинаково. Поэтому более удобно использовать пирамиды биомассы, которые рассчитываются не по количеству особей на каждом трофическом уровне, а по их суммарной массе.

**Пирамида биомассы** характеризует массу живого вещества – указывает количество живого вещества на данном трофическом уровне ( $\text{г/м}^2$ ,  $\text{г/м}^3$ ).

В наземной экосистеме действует правило: суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а их масса превышает биомассу хищников. Для океана пирамида биомассы имеет пере-

вернутый вид, что объясняется высокой скоростью потребления и оборачиваемости: на каждом трофическом уровне количество биомассы, создаваемой за единицу времени, больше, чем на последующем.



**Рис. 16. Пирамида биомассы наземной экосистемы: П – продуценты, РК – растительоядные консументы, ПК – плотоядные консументы**

Пирамиды биомассы не отражают энергетическую значимость организмов и не учитывают скорость потребления биомассы, что приводит к аномалиям в виде перевернутых пирамид. Выходом является построение более сложных пирамид энергии.

**Пирамида энергии** показывает количество энергии, прошедшее через каждый трофический уровень экосистемы за определенный промежуток времени (например, за год).



**Рис. 17. Пример пирамиды энергии**

**Закон (правило) 10 % (закон пирамиды энергий).** С одного трофического уровня экологической пирамиды на другой, более высокий ее уровень передается около 10 % энергии (1942 г. Р. Линдеман).

Например, за счет 1 т съеденной растительной массы может образоваться 100 кг массы тела травоядного животного, а за счет последнего – 10 кг массы тела хищников.



**Рис. 18. Экологические пирамиды**

**Основные принципы функционирования экосистем:**

1. Экосистемы существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянной и избыточной солнечной энергии.

2. Чем больше биомасса популяции, тем ниже должен быть занимаемый ею трофический уровень.

3. Получение ресурсов и избавление от отходов происходит лишь в рамках круговорота всех элементов.

**Круговорот веществ в биосфере.** Все вещества на нашей планете находятся в процессе круговорота. В природе имеется два основных круговорота: большой (геологический) и малый (биогеохимический).

**Большой круговорот веществ (геологический)** обусловлен взаимодействием солнечной энергии с глубинной энергией Земли и осуществляет перераспределение вещества между биосферой и более глубокими горизонтами Земли. Длится он миллионы лет и связан с такими геологическими процессами как опускание материков, поднятие морского дна, с образованием и разрушением горных пород и последующим перемещением продуктов разрушения.

**Малый круговорот веществ (биогеохимический)** совершается в пределах биосферы, на уровне биоценоза. Сущность его заключается в образовании живого вещества из неорганических соединений в процессе фотосинтеза, в прохождении органического вещества по цепям питания и в превращении органического вещества при разложении вновь в неорганические соединения.

**Биогеохимические циклы.** Круговорот отдельных химических элементов называется биогеохимическими циклами (Вернадский В.И.). Химические элементы, поглощенные организмом, впоследствии его покидают, уходя в абиотическую среду. Затем, через какое-то время снова попадают в живой организм и т.д. Этими циклами и круговоротом в целом обеспечиваются важнейшие функции живого вещества в биосфере.

**Функции живого вещества в биосфере (по Вернадскому В.И.):**

1. Газовая – основные газы атмосферы (азот и кислород) – биогенного происхождения, как и все подземные газы – продукт разложения отмершей органики.

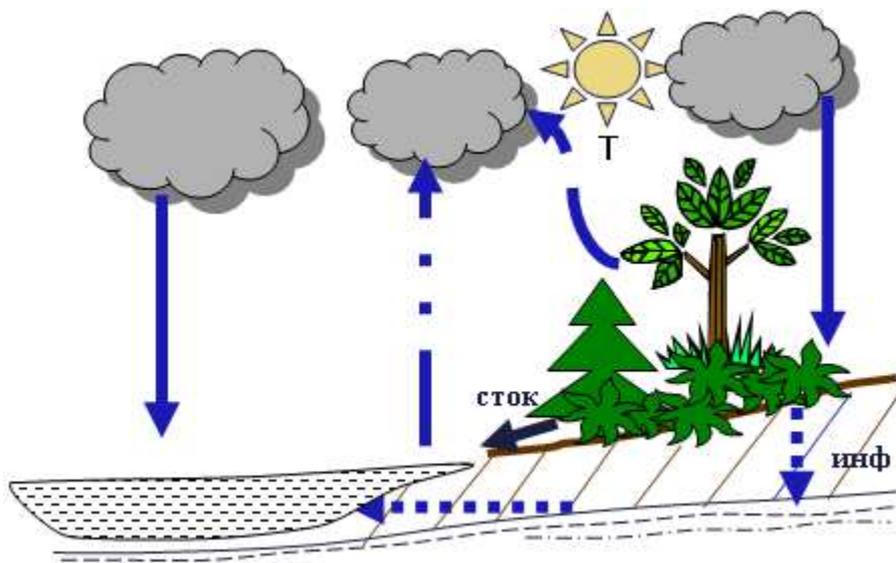
2. Концентрационная – организмы накапливают в своих телах многие химические элементы (Углерод, кальций, йод, фосфор и др.).

3. Окислительно-восстановительная – организмы, обитающие в водоемах, регулируют кислородный режим и создают условия для растворения или осаждения ряда металлов и неметаллов с переменной валентностью.

4. Биохимическая – размножение, рост и перемещение в пространстве живого вещества.

5. Биогеохимическая деятельность человека – охватывает все разрастающееся количество веществ земной коры для хозяйственных и бытовых нужд человека, в том числе таких концентраторов углерода как нефть, уголь, газ.

**Круговорот воды (часть большого круговорота).** Круговорот воды включает в себя следующие процессы (рис. 19): испарение воды, конденсация паров, выпадение осадков и их сток, транспирация – физиологическое выделение воды с наземных частей растений, инфильтрация – просачивание воды в почву.



**Рис. 19.**  
**Круговорот**  
**воды**

На круговорот воды на поверхности Земли затрачивается около трети всей поступающей на Землю солнечной

энергии. В круговороте воды на Земле ежегодно участвует более 500 тыс. км<sup>3</sup> воды. Круговорот воды в целом играет основную роль в формировании природных условий на нашей планете. С учетом транспирации воды растениями и поглощения ее в биогеохимическом цикле, весь запас воды на Земле распадается и восстанавливается за 2 млн лет.

**Круговорот азота.** Азот в виде газа N<sub>2</sub> является составной частью воздуха – 78 %. Живыми организмами азот усваивается только в форме соединений с водородом и кислородом.

Фиксация азота в химические соединения происходит в результате вулканической (аммиак) и грозовой (нитраты) деятельности, но большей частью – в результате деятельности микроорганизмов – фиксаторов азота (бактерии и водоросли). Азот поступает к корням растений в форме нитратов, которые используются для синтеза органики (белков). Животные потребляют азот с растительной или

животной пищей. Бактерии превращают органические азотсодержащие соединения биологических отходов в аммиак, нитриты, нитраты. Некоторые бактерии способны разлагать нитраты до газообразного азота, замыкая цикл. ***Техногенная деятельность человека нарушает естественный баланс круговорота азота:***

- выбросы оксидов азота при сжигании топлива (выхлопные газы автомобилей, выбросы промышленных предприятий и ТЭЦ);
- избыток нитратов, вносимых с минеральными удобрениями;
- стоки с ферм.

***Круговорот углерода.*** Углерод, содержащийся в виде  $\text{CO}_2$  в атмосфере, служит сырьем для синтеза органических соединений посредством фотосинтеза на уровне продуцентов растений, а затем углерод в составе органических веществ потребляется консументами разных трофических уровней. При дыхании растений, животных, по мере разложения мертвого вещества выделяется  $\text{CO}_2$ , в форме которого углерод возвращается в атмосферу. Большая часть углерода содержится в водах океана в виде карбонатов. Океан поглощает избыток  $\text{CO}_2$  из воздуха, в результате чего образуются карбонатные и бикарбонатные ионы. Существует и обратный процесс, в ходе которого  $\text{CO}_2$  выделяется из океана в атмосферу. Океаны играют роль своеобразного буфера, поддерживая концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере на постоянном уровне.

***Техногенная деятельность человека*** нарушает естественный баланс круговорота углерода. При сгорании органического топлива ежегодно в атмосферу выбрасывается около 6 млрд т  $\text{CO}_2$ :

- производство электроэнергии на ТЭЦ;
- выхлопные газы автомобилей;
- обогрев домов и промышленных предприятий;

***Уничтожение лесов:***

- расширение сельскохозяйственных земель;
- производство изделий из древесины.

Естественным источником поступления  $\text{CO}_2$  в атмосферу являются лесные пожары.

#### **1.4. Природные ресурсы**

Рост популяции человека ограничен некоторыми лимитирующими факторами. Одним из важнейших лимитирующих факторов выживания человека как биологического вида является ограниченность и исчерпаемость важнейших для него природных ресурсов.

**Природные ресурсы** – это совокупность природных объектов и явлений, которые используются человеком для поддержания своего существования.

**Классификация природных ресурсов.** Природные ресурсы можно классифицировать **по трем признакам:**

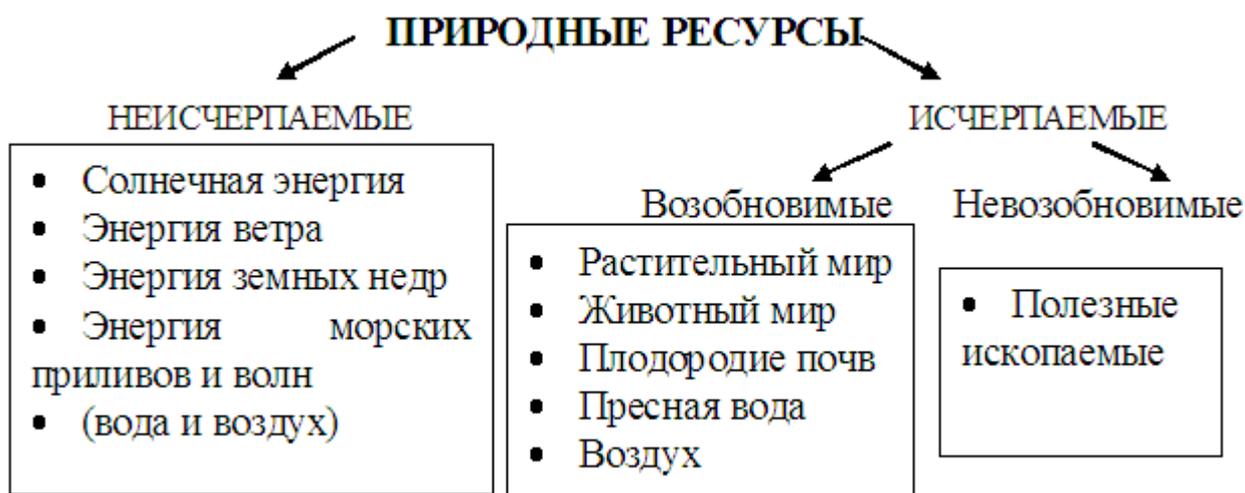
**по источникам происхождения:**

- биологические – живые компоненты биосферы (растения, животные, микроорганизмы), являющиеся источниками получения людьми материальных и духовных благ;
- минеральные – все пригодные для употребления составляющие литосферы, используемые в хозяйстве как минеральное сырье или источники энергии;
- энергетические ресурсы – совокупность энергии Солнца и космоса, атомно-энергетических, топливно-энергетических, термальных и других источников энергии.

**по использованию в производстве:**

- земельный фонд – сельскохозяйственные земли, земли населенных пунктов, земли несельскохозяйственного назначения (промышленности, транспорта). Мировой земельный фонд – 13,4 млрд га;
- лесной фонд – земли, на которых произрастают или могут произрастать леса, это часть биологических ресурсов;
- водные ресурсы – подземные и поверхностные воды, которые могут быть использованы для различных целей в хозяйстве;
- гидроэнергетические ресурсы – реки, приливно-отливная деятельность океана;
- ресурсы фауны – количество обитателей, которые может использовать человек, не нарушая экологического равновесия;
- полезные ископаемые (рудные, нерудные, топливно-энергетические ресурсы) – природное скопление минералов в земной коре, которое может быть использовано в хозяйстве.

**по степени исчерпаемости** – экологическая классификация. Истощение природных ресурсов с экологических позиций – это несоответствие между безопасными нормами изъятия природного ресурса из природных систем и недр, и потребностями человечества (рис. 20).



**Рис. 20. Классификация природных ресурсов  
(по степени исчерпаемости)**

**Состояние природных ресурсов.** Неисчерпаемые ресурсы – солнечная энергия и вызванные ею природные силы (ветер, приливы) существуют вечно и в неограниченных количествах.

Количество исчерпаемых возобновимых ресурсов ограничено, но они могут возобновляться естественным путем или с помощью человека (искусственная очистка воды и воздуха, повышение плодородия почв, восстановление поголовья диких животных и т.д.).

**Состояние флоры и фауны.** Эволюционные процессы, происходившие в различные геологические периоды, привели к существенным изменениям видового состава обитателей Земли. Под воздействием активной деятельности человеческого общества биологические ресурсы утрачиваются быстрее. В настоящее время идентифицировано около 1,5 млн видов растений и животных. За последние 400 лет исчезли 83 вида млекопитающих, 128 видов птиц, 21 – пресмыкающихся, 5 – земноводных, 81 – моллюсков, 8 – ракообразных, 72 – насекомых. Под угрозой уничтожения находятся 1130 видов млекопитающих, 1183 – птиц, 296 – пресмыкающихся, 146 – земноводных, 751 – рыб, 938 – моллюсков, 408 – ракообразных, 555 – насекомых. В ближайшие 20–30 лет под угрозой исчезновения будет находиться ~25 % всех видов Земли.

**Основные причины утраты биологического разнообразия:**

- Уничтожение или нарушение среды обитания (строительство городов, сведение лесов, осушение болот, создание водохранилищ и т.д.).
- Промысловая охота.

- Интродукция чуждых видов – введение организмов в местность, где они раньше не встречались, и акклиматизация – следующий этап, приспособление организмов к новой окружающей среде. Чуждые растения и животные в новых местах обитания, не имея врагов, способствуют полному исчезновению или вытеснению местных видов.

- Прямое уничтожение с целью защиты сельскохозяйственной продукции.

- Случайное (непреднамеренное) уничтожение (на автомобильных дорогах, в ходе военных действий, на ЛЭП и др.).

- Загрязнение окружающей среды.

**Меры по сохранению биоразнообразия:**

- Защита особой среды обитания – создание национальных парков, заповедников и других охранных зон.

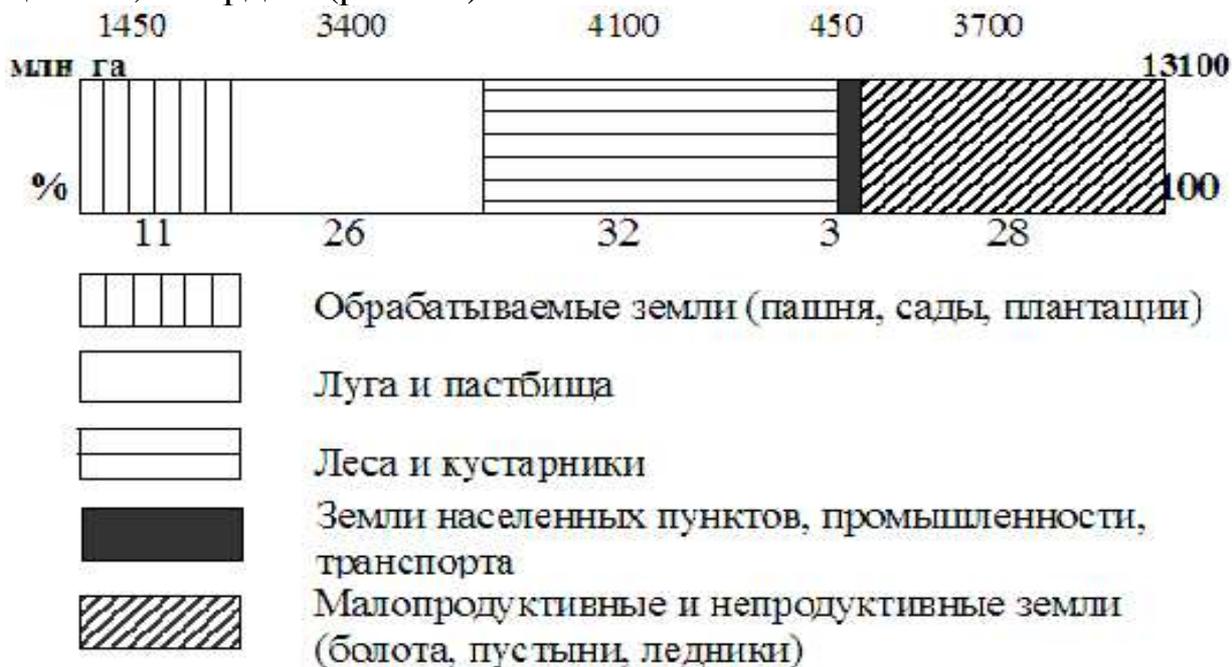
- Защита отдельных видов – Красная книга; первая Красная книга была издана в 1966 г.

- Сохранение видов в виде генофонда в ботанических садах, исследовательских центрах.

- Принятие законов, направленных на сохранение биоразнообразия.

- Снижение уровня загрязнения окружающей среды.

**Земельные ресурсы.** Обеспеченность человечества земельными ресурсами определяется мировым земельным фондом, составляющим 13,1 млрд га (рис. 21).



**Рис. 21. Размеры и структура мирового земельного фонда**

Обрабатываемые земли дают человечеству 88 % необходимых продуктов питания. Луга и пастбищные земли обеспечивают 10 % пищи, потребляемой человечеством, 2 % – ресурсы Мирового океана.

Леса играют важную роль в глобальных круговоротах углерода и кислорода, регулируют сток вод, предотвращают эрозию почв, служат местообитанием большого числа диких растений и животных. Площадь лесов в мире ежегодно уменьшается на 20 млн. га или на 0,5 %.

***Главные причины сведения лесов:***

- освоение новых территорий под сельское хозяйство;
- получение древесины для строительства, деревообрабатывающей, бумажной промышленности;
- получение топлива;
- лесные пожары.

***Деградация почв.*** Почва считается возобновимым ресурсом: в тропических и средних широтах на восстановление слоя толщиной 1 дюйм (2,54 см) требуется от 200 до 1000 лет. Плодородие почвы – это обобщающий показатель, характеризующий основные экологические функции почвы. Используя почву для сельскохозяйственной и иной деятельности, человек нарушает биологический круговорот веществ, способность почвы к саморегуляции и снижает ее плодородие. Происходит деградация почв, т.е. ухудшение их свойств.

***Основные виды антропогенного воздействия на почвы:***

- эрозия [ветровая (дефляция) и водная];
- загрязнение почв;
- вторичное засоление и заболачивание;
- опустынивание;
- отчуждение земель для промышленного и коммунального строительства.

***Эрозия почвы.*** Это разрушение и снос верхних наиболее плодородных горизонтов и подстилающих пород ветром (дефляция) или потоками воды (34 и 31 % поверхности суши, соответственно, подвержено этим видам эрозии). Выделяют также промышленную эрозию – разрушение сельскохозяйственных земель при строительстве и разработке карьеров, военную – воронки, траншеи, пастбищную – при интенсивном выпасе скота и др. По разным оценкам от 40 до 60 % сельскохозяйственных земель эродированы.

**Загрязнение почв.** Поверхностные слои почв легко загрязняются. Большие концентрации в почве различных химических соединений – токсикантов пагубно влияют на жизнедеятельность почвенных организмов. При этом теряется способность почвы к самоочищению от болезнетворных микроорганизмов. **Основные загрязнители почвы:**

- пестициды (ядохимикаты);
- минеральные удобрения;
- отходы и отбросы производства;
- газодымовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- нефть и нефтепродукты.

**Пестициды (ядохимикаты):**

- гербициды – это ядохимикаты, используемые для борьбы с сорняками;
- инсектициды используются против насекомых;
- фунгициды – против грибковых заболеваний;
- зооциды – против грызунов.

Пестициды действуют на все живые организмы и вызывают глубокие изменения всей экосистемы, хотя предназначены для ограниченного числа видов. По пищевым цепочкам попадают в организм человека. Даже малые исходные концентрации в результате биологического накопления могут стать опасными для жизни организмов. Среди пестицидов наибольшую опасность представляют стойкие хлорорганические соединения, которые могут сохраняться в почвах в течение многих лет. Попадая в организм человека, пестициды могут вызвать не только быстрый рост злокачественных новообразований, но и поражать организм генетически.

В мире ежегодно производится более миллиона тонн пестицидов. Только в России используется более 100 индивидуальных пестицидов при общем годовом объеме их производства 100 тыс. т. До 2 млн чел. каждый год подвергаются отравлению пестицидами, из них 40 тыс. – с летальным исходом.

**Минеральные удобрения.** Почвы загрязняются и минеральными удобрениями, если их используют в неумеренных количествах, теряют при производстве, транспортировке и хранении. Из азотных, суперфосфатных и других типов удобрений в почву в больших количествах мигрируют нитраты, сульфаты, хлориды и другие соединения. Неумеренное использование минеральных удобрений нарушает биогеохимические круговороты азота, фосфора, серы и неко-

торых других элементов; способствует повышенному выделению в атмосферу парниковых газов (закиси азота, метана); приводит к снижению содержания кислорода в почве; вызывает нежелательное подкисление почвы и сокращение урожая.

**Отходы производства.** К интенсивному загрязнению почв приводят отходы и отбросы производства. В России ежегодно образуется свыше 1 млрд т промышленных отходов, из них более 50 млн. т. особо токсичных. Огромные площади земель заняты свалками, золоотвалами, хвостохранилищами и др., которые интенсивно загрязняют почвы.

**Газодымовые выбросы предприятий.** В результате осаждения загрязняющих веществ из атмосферы происходит загрязнение земной поверхности серой, тяжелыми металлами – свинцом, ртутью, медью, кадмием и другими вредными веществами.

**Нефть и нефтепродукты.** Почва загрязняется нефтепродуктами в результате аварий на нефтепроводах, из-за несовершенства технологии нефтедобычи, аварийных выбросов и т.д. Например, в Томской области концентрации нефтепродуктов в почве превышают фоновые значения в 150–250 раз. Свыше 20 тыс. га в Западной Сибири загрязнены нефтью толщиной слоя около 5 см.

**Вторичное засоление и заболачивание.** Вторичное засоление (усиление природного засоления) развивается при неумеренном поливе орошаемых земель в засушливых районах. Вторичному засолению подвержено 30 % площади орошаемых земель в мире, 18 % – в России. Засоление почв приводит к изменению видового состава, к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Заболачивание наблюдается в сильно переувлажненных районах (Западно-Сибирская низменность), в зонах вечной мерзлоты. Ухудшаются агрономические свойства почв, снижается производительность лесов, изменяется видовой состав.

**Опустынивание** – это процесс необратимого изменения почвы и растительности и снижения биологической продуктивности, который в экстремальных случаях может привести к полному разрушению биосферного потенциала и превращению территории в пустыню. **Причины опустынивания** могут быть как антропогенными, так и природными:

- длительная засуха;
- засоление почв;
- снижение уровня подземных вод;

- ветровая и водная эрозия;
- сведение лесов (вырубка деревьев, кустарников);
- перевыпас скота;
- интенсивная распашка;
- нерациональное водопользование.

**Отчуждение земель.** Почвенный покров необратимо нарушается при строительстве промышленных объектов, городов, дорог, линий связи. Ежегодно в мире при строительстве дорог теряется более 300 тыс. га пахотных земель. Эти потери неизбежны, однако они должны быть сокращены до минимума.

#### ***Защита почв от деградации:***

1. Защита почв от водной и ветровой эрозии; это направление включает в себя *агротехнические мероприятия* (почвозащитные севообороты, контурная система выращивания сельскохозяйственных культур, при которой задерживается сток, химические средства борьбы и т.д.), *лесомелиоративные* (лесозащитные и водорегулирующие полосы, лесные насаждения на оврагах), *гидротехнические мероприятия* (устройство каналов, сооружение водотоков и т.д.).

2. Мелиоративные мероприятия для борьбы с засолением и заболачиванием.

1) Для борьбы с заболачиванием применяется *осушительная мелиорация* – перехват и сброс атмосферных склоновых вод, спрямление русла реки для защиты от затопления, строительство дамб, водозаборных сооружений и др.

2) Для борьбы с засолением почв регулируется подача воды, применяется полив дождеванием, используется прикорневое и капельное орошение, проводятся дренажные работы.

3. Рекультивация нарушенного почвенного покрова.

4. Защита почв от загрязнения – использование экологических методов защиты растений. Агротехнические методы заключаются в оптимизации размеров отдельных полей для подавления нежелательных видов. Биологические методы защиты растений – это использование полезных насекомых, например, разведение и выпуск в экосистемы божьих коровок, муравьев и т.д.

5. Предотвращение необоснованного изъятия земель из сельскохозяйственного оборота (для строительства).

***Состояние исчерпаемых невозобновимых ресурсов.*** Исчерпаемость природных ресурсов определяется их резервами в природе и интенсивностью использования человеческим обществом. ***К исчер-***

**паемым невозобновимым ресурсам относятся полезные ископаемые:**

- ископаемое топливо;
- металлическое минеральное сырье;
- неметаллическое минеральное сырье.

Ресурсы полезных ископаемых возобновляемы в процессе эволюции литосферы, но время их возобновления (сотни тыс. и млн. лет) несопоставимо со временем разработки месторождений и расходом минеральных богатств. Интенсивная разработка месторождений ведет к прогрессирующему истощению земных недр. Непрерывный рост потребления минерального сырья требует рационального использования недр и их охраны.

Разработка недр оказывает вредное воздействие практически на все компоненты окружающей природной среды: изменение рельефа местности, химическое загрязнение почв, механическое нарушение почв, ухудшение качества подземных и поверхностных вод, осушение болот, загрязнение атмосферного воздуха, гибель растительности, рыбы и др.

***Пути решения проблемы ресурсов полезных ископаемых:***

***1. Использование вод и шельфов Мирового океана*** способствует увеличению запасов полезных ископаемых. Воды океана содержат много растворимых веществ. Такие элементы как натрий, хлор, магний, сера, кальций и калий составляют 99,5% всех растворенных веществ: Na – 30,62 %, Cl – 55,07 %, Mg – 3,68%, S – 2,73 %, Ca – 1,18 %, K – 1,1 %. Также содержатся значительные количества еще 64 элементов. 1 км<sup>3</sup> морской воды содержит в среднем по 2000 кг меди и цинка, 800 кг олова, 280 кг серебра, 11 кг золота. Вся масса золота, содержащегося в водах Мирового океана, составляет 10 млрд т, что в несколько раз больше запасов всех цветных металлов на континентах.

Потенциальные ресурсы океанов и морей огромны, но не могут интенсивно использоваться, пока не будут разработаны необходимые технологии их извлечения. В настоящее время могут добываться из воды с экономической выгодой 4 элемента – Na, Cl, Mg, Br.

Шельф – мелководная платформа, окаймляющая континенты и занимающая 7,5 % водной поверхности. На шельфах скапливается огромная масса осадочных пород и полезных ископаемых.

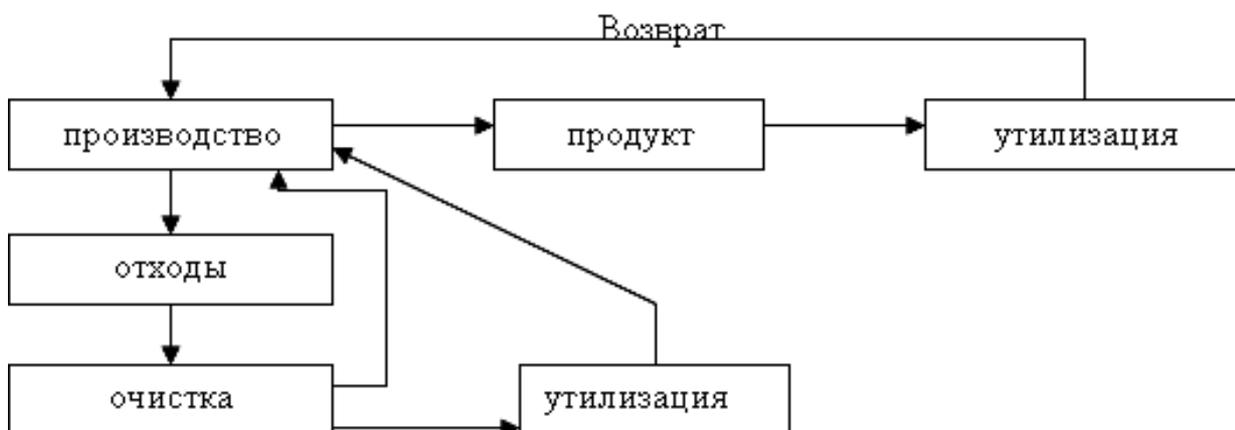
**2. Охрана и рациональное использование недр.** Можно выделить следующие основные направления охраны и рационального использования недр:

- Обеспечение полного и комплексного геологического изучения недр (для выявления и оценки месторождений полезных ископаемых, исследования закономерностей их формирования и размещения, выяснения условий разработки месторождений).
- Полное извлечение из недр и рациональное использование запасов основных и попутных компонентов.
- Комплексное использование минерального сырья, включая проблему утилизации отходов.
- Охрана месторождений от затопления, обводнения, пожаров.
- Предотвращение загрязнения недр при подземном хранении веществ, захоронении отходов производства.

**3. Использование вторичных ресурсов, создание малоотходных технологий.** Вторичное использование материалов решает целый комплекс вопросов по защите окружающей среды:

1. Сокращается потребность в первичном сырье.
2. Уменьшается загрязнение вод и земель.
3. Сокращаются энергетические затраты на переработку сырья.

Истощение запасов первичного сырья требует перевода технологий на использование вторичного сырья, создания малоотходных технологий, основой которых является рациональное использование всех компонентов сырья в замкнутом цикле, аналогичном круговороту веществ и энергии в экосистемах (рис. 22).



**Рис. 22. Рациональное использование всех компонентов сырья в замкнутом цикле**

***Разработаны следующие рекомендации по организации малоотходных и ресурсосберегающих технологий:***

- все производственные процессы должны осуществляться при минимальном числе технологических этапов, поскольку на каждом из них образуются отходы и теряется сырье;
- технологические процессы должны быть непрерывными, что позволяет наиболее эффективно использовать сырье и энергию;
- единичная мощность технологического оборудования должна быть оптимальной, что соответствует максимальному КПД и минимальным потерям;
- необходимо широко использовать автоматические системы управления, что обеспечит оптимальное ведение технологических процессов с минимальным выходом вредных веществ;
- выделяющаяся в различных технологических процессах теплота должна быть полезно использована, что позволит сэкономить энергоресурсы, сырье.

**На основании проведенного анализа можно сделать общее заключение о том, что главную роль в биосфере играет живое вещество или биомасса живых существ. Живое вещество планеты составляет ничтожную часть планеты, но оно является мощным геохимическим и энергетическим фактором. *Функции живого вещества:***

- газовая – поддержание постоянного газового состава атмосферы (кислород пополняется за счет фотосинтеза в растениях, углекислый газ – за счет дыхания организмов);
- концентрационная – способность живого вещества активно поглощать из внешней среды и накапливать определенные элементы, приводящая к образованию полезных ископаемых (уголь – концентрированный углерод, мел – кальций и др.);
- окислительно-восстановительная способность, благодаря которой осуществляется круговорот веществ в биосфере (бактерии-хемосиликаты) (рис. 23).



Рис. 23. Влияние окружающей среды на здоровье человека

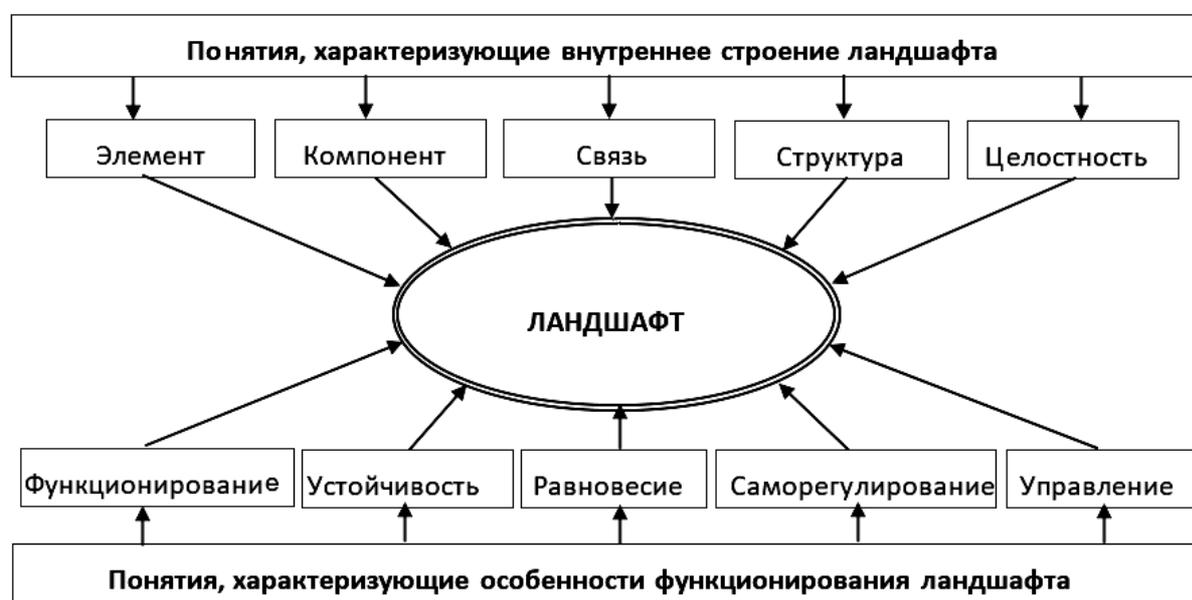
**Общий вывод: сохранение человечества – это сохранение окружающей среды.**



## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ

*Классификация* – процесс упорядочения всего множества изучаемых объектов в классы, группы, роды, виды согласно важнейшим принципиальным признакам, характеризующим эти

объекты и поэтому без знания ландшафтов и агроландшафтов невозможно объективно оценить состояние окружающей среды и объективно провести ее мониторинг (рис. 24).



**Рис. 24. Основные понятия, характеризующие ландшафт**

Первым критерием классификации современных ландшафтов является степень их трансформированности хозяйственной деятельностью человека (рис. 25, 26). В соответствии с этим критерием выделяют:

1. Не измененные человеком ландшафты (арктические, антарктические, горные гляциально-нивальные, глухие таежные районы, заповедные территории).
2. Слабо измененные человеком ландшафты, сохраняющие способность к восстановлению исходной структуры; механизмы восстановительной сукцессии не нарушены (лесные геосистемы, в

которых велись вырубки, степные и пустынные пастбища после дигрессии).

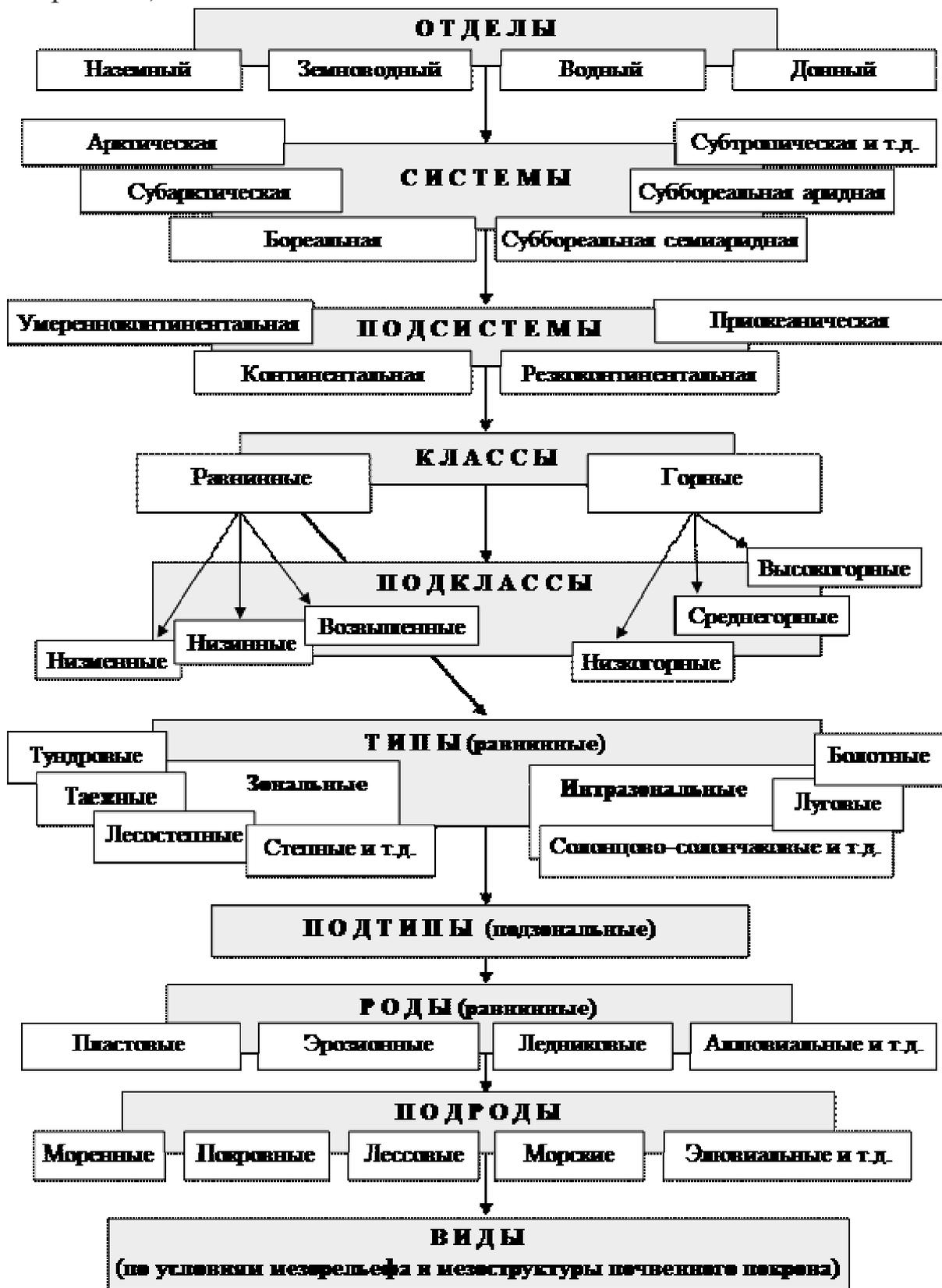


Рис. 25. Схема классификации природных ландшафтов



Рис. 26. Схема классификации сельскохозяйственных ландшафтов

3. Необратимо измененные человеком ландшафты (карьерно-отвалы в районах горнодобывающей промышленности, сельскохозяйственные земли, испытавшие овражную эрозию).

Второй критерий – наличие или отсутствие антропогенной регуляции ландшафтов. Среди саморазвивающихся природно-антропогенных ландшафтов, не регулируемых человеком, выделяют:

а) постхозяйственные, предоставленные естественным процессам восстановительной сукцессии ландшафты (пример: массивы вырубленного леса);

б) природно-антропогенные геосистемы побочного генезиса, созданные непреднамеренно в ландшафтно-географических полях каких-либо антропогенных образований (пример: заболоченные берега водохранилища).

Антропогенно регулируемые являются практически все природно-антропогенные ландшафты, постоянно используемые в хозяйстве. Это сельскохозяйственные, лесохозяйственные, промышленные, рекреационные и др. ландшафты.

**Антропогенная регуляция ландшафта** – комплекс мероприятий по поддержанию структуры и функционирования природно-антропогенного ландшафта в заданном режиме.

Третий критерий – *социально-экономическая функциональная значимость ландшафтов*. Социально-экономическая функция ландшафта – значимость ландшафта в жизни и удовлетворении потребностей общества, человека и всей планетарной геосистемы «природа-общество». Выделяют следующие социально-экономические функции ландшафтов: ресурсовоспроизводящая; средообразующая; природоохранная; воспитательная; информационная.

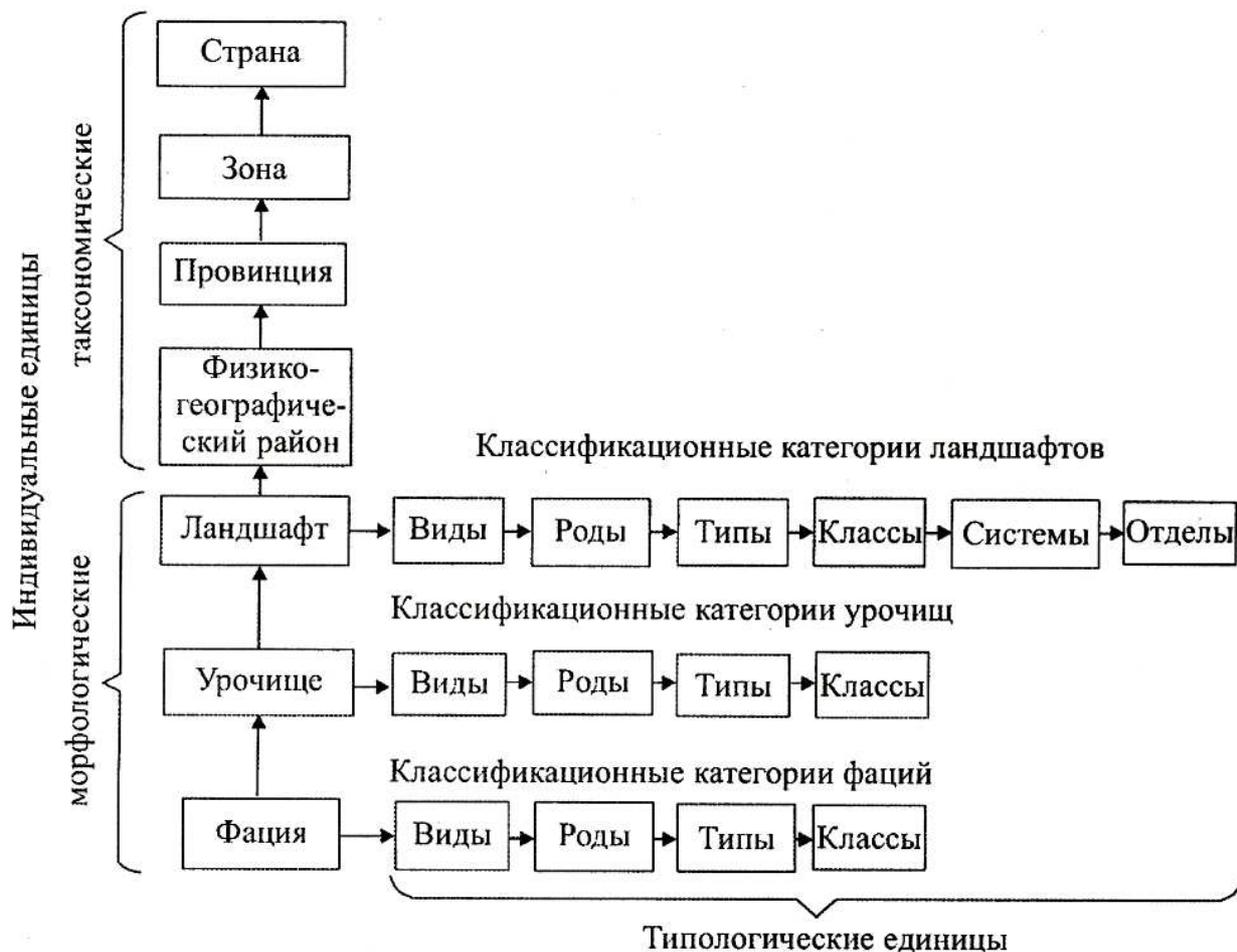
Информационной функцией обладают все ландшафты, однако наиболее ценна информация заповедников. Многие современные ландшафты выполняют одновременно нескольких функций.

**В настоящее время выделяется два класса природных ландшафтов** – *условно природные* и *природно-антропогенные*. Среди природно-антропогенных различают три основные группы: ландшафты, постоянно используемые; постхозяйственные ландшафты; природно-антропогенные ландшафты, сформированные непреднамеренно в сфере ландшафтно-географических полей.

**Природный ландшафт** – сложная природная геосистема (ПТК), состоящая из сопряженных генетически и функционально (т. е. потоками вещества и энергии) более мелких природных геосистем – урочищ (подурочищ), фаций (рис. 27).

В настоящее время ландшафтная оболочка понимается как среда человеческого обитания. С другой стороны, человечество со своими

производительными силами создает социально-экономическую среду ландшафтной оболочки.



**Рис. 27. Классификационные признаки ландшафтов**

Современное учение о природно-антропогенных ландшафтах объединяет геосистемный и экосистемный подходы, представляет собой геоэкологическую концепцию. Определение ландшафта с геоэкологических позиций выглядит так. **Ландшафт** – средообразующая и ресурсовоспроизводящая геоэкологическая система, служащая средой обитания и ареной хозяйственной деятельности социально-этнических групп, сообществ.

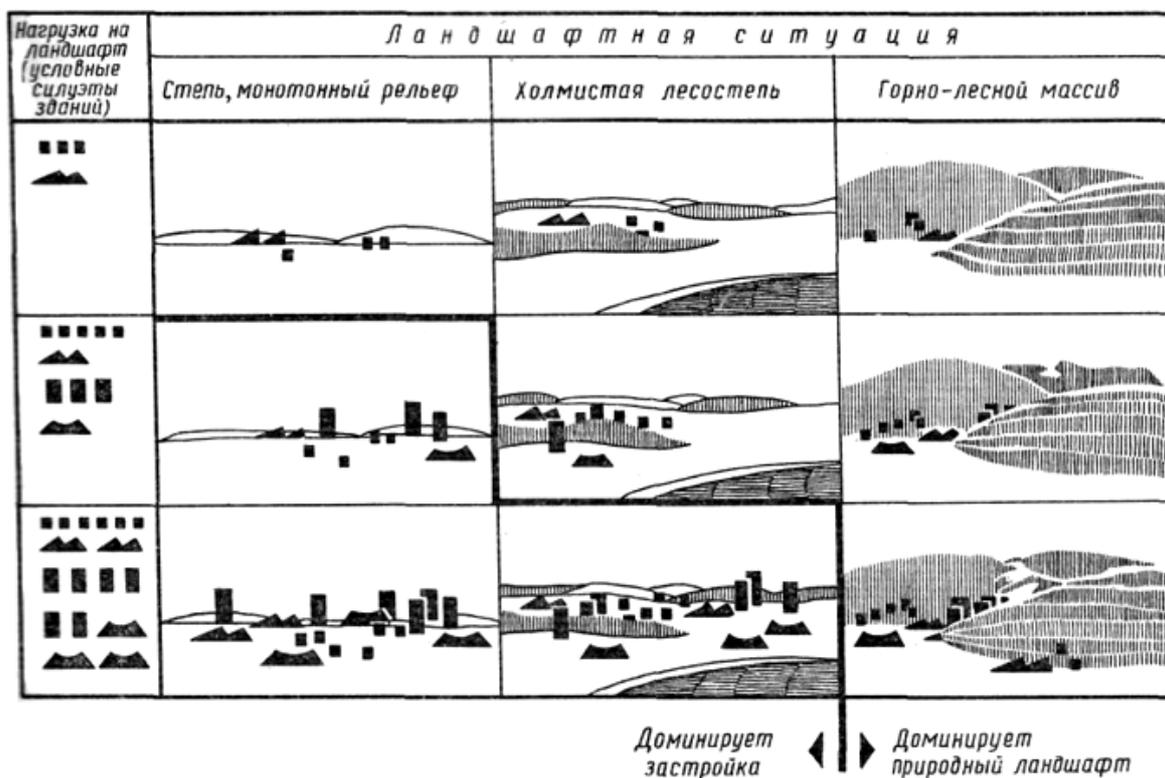
Обычно измененные хозяйственной деятельностью человека ландшафты называются антропогенными (термин ввел Ф. Н. Мильков). Однако все они включают природную составляющую, поэтому правильнее их называть *природно-антропогенными*. Правильнее оно, может, и правильнее, но ГОСТ главнее!

## Отличия природных и природно-антропогенных ландшафтов:

1. Природно-антропогенным ландшафтам свойственна та или иная антропогенная трансформированность компонентов (чаще всего биоты), а порой и морфологической структуры исходного ландшафта.

2. Природно-антропогенные ландшафты имеют не только естественную, но и антропогенную энергетическую основу.

3. Большинство современных природно-антропогенных ландшафтов насыщены продуктами человеческого труда, которые обобщенно называют техновеществом. К ним относятся: всевозможные сооружения, парк техники, промышленная продукция, отходы производства ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и др.), в том числе кислотные осадки (рис. 28).



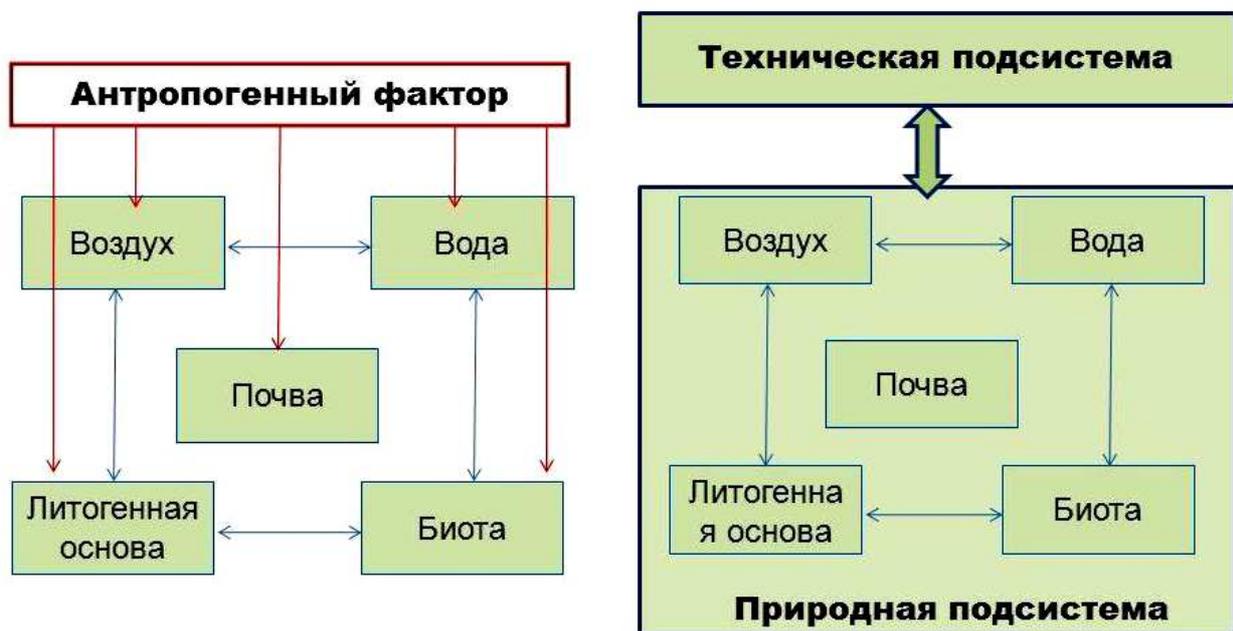
**Рис. 28. Классификация доминирования ландшафтной ситуации**

**Природно-антропогенный ландшафт** – такой ландшафт, структура и функционирование которого существенно изменены человеком.

Термин ландшафт: ланд – земля, шафт – суффикс, аналогичный нашему «ств», означающий совокупность некоторых объектов,

явлений. В немецком языке ландшафт – земля не очень малых, но в то же время и не очень значительных размеров. Это земля, ограниченная либо природными, либо антропогенными рубежами.

**Принципы классификации ландшафтов.** Каждый ландшафт, по выражению Л.С. Берга, неповторим как в пространстве, так и во времени. Невозможно найти два одинаковых ландшафта. Из этого, однако, не следует, что исключено всякое качественное сходство между ландшафтами. Сравнение позволяет установить группы ландшафтов, принципиально близких по происхождению, структуре, динамике и другим существенным признакам, и тем самым классифицировать ландшафты (рис. 29).



**Рис. 29. Схема антропогенного ландшафта и ландшафтно-технической системы**

Ландшафтная классификация имеет большое организующее значение как основа для научного описания ландшафтов всей Земли или любой ее части, вскрытия пробелов в наших знаниях о ландшафтах Земли.

Велико и практическое (прикладное) значение классификации. В практических целях (например, при оценке условий для развития сельского хозяйства или потребности в мелиоративных и природоохранных мероприятиях) бывает слишком сложно и даже нецелесообразно анализировать и оценивать каждый ландшафт в отдельности. Чаще возникает необходимость

разрабатывать те или иные типовые нормы или мероприятия (градостроительные, агролесомелиоративные, природоохранные и т.п.) применительно к типовым же природным условиям, т.е. к некоторому, по возможности не очень большому числу ландшафтных групп. Здесь на помощь и приходит классификация, в которой огромное множество ландшафтов сведено в некоторое число типов, классов, видов. Можно ожидать, что типологически близкие ландшафты будут обладать сходным комплексом природных условий и ресурсов и в то же время однотипно отзываться на хозяйственные и мелиоративные воздействия.

Сходства и различия ландшафтов определяются многими причинами, и важно определить, в какой последовательности эти причины должны учитываться в таксономическом ряду. Важнейшие процессы функционирования ландшафтов, такие, как влагооборот, биологический круговорот веществ, почвообразование, продуцирование биомассы, определяются тепло- и влагообеспеченностью ландшафта, т.е. поступлением солнечной энергии и активной влаги. Распределение же тепла и влаги и их соотношение зависят от широтной зональности, секторности, высотной ярусности ландшафтов, и эти важнейшие закономерности ландшафтообразования должны служить исходными "координатами" при классификации ландшафтов. Исходя из приведенных соображений, в качестве высшей таксономической ступени классификации предлагается считать тип ландшафтов. Основным критерий для разграничения типов ландшафтов – важнейшие глобальные различия в соотношениях тепла и влаги, в гидротермическом режиме ландшафтов. Конкретными классификационными признаками служат такие показатели, как радиационный баланс, сумма активных температур (за период со средними суточными температурами выше 10°C), коэффициент увлажнения и коэффициент континентальное™ по Н.Н. Иванову. Кроме того, следует учитывать средние и экстремальные температуры воздуха, количество осадков, величину испаряемости. Общность ландшафтов одного типа проявляется в водном балансе, современных геоморфологических и геохимических процессах, условиях жизни органического мира, его структуре, продуктивности, запасах биомассы, биологическом круговороте веществ, типе почвообразования.

**Тип ландшафтов** – это объединение ландшафтов, имеющих общие зонально-секторные черты в структуре, функционировании и динамике. По зональным признакам все типы можно сгруппировать в группы, или серии, которые представляют собой аналоги по теплообеспеченности, а по секторным – в ряды, представляющие аналоги типов по увлажнению. Номенклатура типов ландшафтов складывается соответственно из двух элементов: один указывает на положение в ряду теплообеспеченности (арктические и антарктические, субарктические, бореальные, суббореальные, субтропические и т.д.), другой – на положение в ряду увлажнения (от гумидных до экстрааридных).

Большинство ландшафтных типов представлено различными вариантами в обоих полушариях, на разных континентах, а нередко – и в разных секторах одного континента. В таких случаях к названию типа прибавляются соответствующие эпитеты, указывающие на региональную приуроченность, а в тех случаях, когда варианты обусловлены изменениями степени континентальное<sup>TM</sup>, то и на этот признак. Примеры полных наименований: ландшафты бореальные (таежные) умеренно-континентальные восточноевропейские; бореальные (таежные) умеренно-континентальные североамериканские.

Характерные черты ландшафтов каждого типа, как правило, лучше всего выражены в центре его ареала; на периферии появляются признаки перехода к соседним типам. Это обстоятельство дает основание подразделять типы ландшафтов на подтипы, которые отражают постепенность зональных переходов. Во многих типах ландшафтов естественно выявляются **три подтипа** – северный, средний и южный (например, в тундровых, таежных, суббореальных степных).

На следующей таксономической ступени в классификацию вводится гипсометрический фактор, который служит критерием выделения классов и подклассов ландшафтов, отражающих ярусные ландшафтные закономерности. Главным высотным ландшафтным уровням соответствуют **два класса ландшафтов** – равнинный и горный. Напомним, что главная отличительная особенность горных ландшафтов – наличие высотной поясности. В составе равнинного класса различаются два подкласса – низменные и возвышенные ландшафты, в классе горных ландшафтов – подклассы низко-, средне- и высокогорный. В выделении

подклассов отражается постепенная трансформация характерных зонально-секторных признаков каждого типа по мере нарастания высоты над уровнем моря (табл. 2, рис. 30).

**Таблица 2. Примеры ландшафтов**

<b>Тип:</b>	Ландшафты бореальные (таежные)
<b>подтип:</b>	Умеренно- континентальные
<b>класс:</b>	Восточно-европейские
<b>подкласс:</b>	Южно-таежные
<b>вид:</b>	Холмисто-моренные на равнинном цоколе из карбонатных возвышенные палеозойских пород
<b>Тип:</b>	Ландшафты суббореальные экстрааридные (пустынные)
<b>подтип:</b>	Крайне-континентальные
<b>класс:</b>	Центральноазиатские
<b>подкласс:</b>	Северные пустынные
<b>вид:</b>	Складчато-глыбовые на горных докембрийских породах высокогорные, с кобрезиевыми пустошами и каменистыми россыпями



**Рис. 30. Смешанный, широколиственный лес**

На нижних ступенях ландшафтной классификации в качестве определяющего критерия выступает фундамент ландшафта – его

петрографический состав, структурные особенности, формы рельефа. Учет этого критерия дает основания для выделения в конечном счете классификационных единиц наиболее дробного таксономического уровня – видов ландшафтов. Ландшафты одного вида характеризуются наибольшим числом общих признаков и максимальным сходством в генезисе, наборе компонентов, структуре и морфологии (рис. 31).



**Рис. 31. Уральские горы, горный Алтай**

Ландшафтная структура природных регионов, материков и земной суши в целом характеризуется определенной пространственной организацией. Основными факторами, определяющими ландшафтную дифференциацию суши, являются климатический и геолого-геоморфологический (рис. 32).

**Природная зональность** – одна из основных закономерностей ландшафтной дифференциации суши, связанная с климатическими различиями физико-географических поясов, зон и подзон. В соответствии с этой закономерностью в типологической классификации ландшафтов выделяются разряды, типы и подтипы.

**Ландшафтная зона** (на равнине) – пространство с господством определенного зонального типа ландшафтов (таежного, лесостепного и т. д.). Природные зоны на равнинах называются широтными, или точнее – горизонтальными.



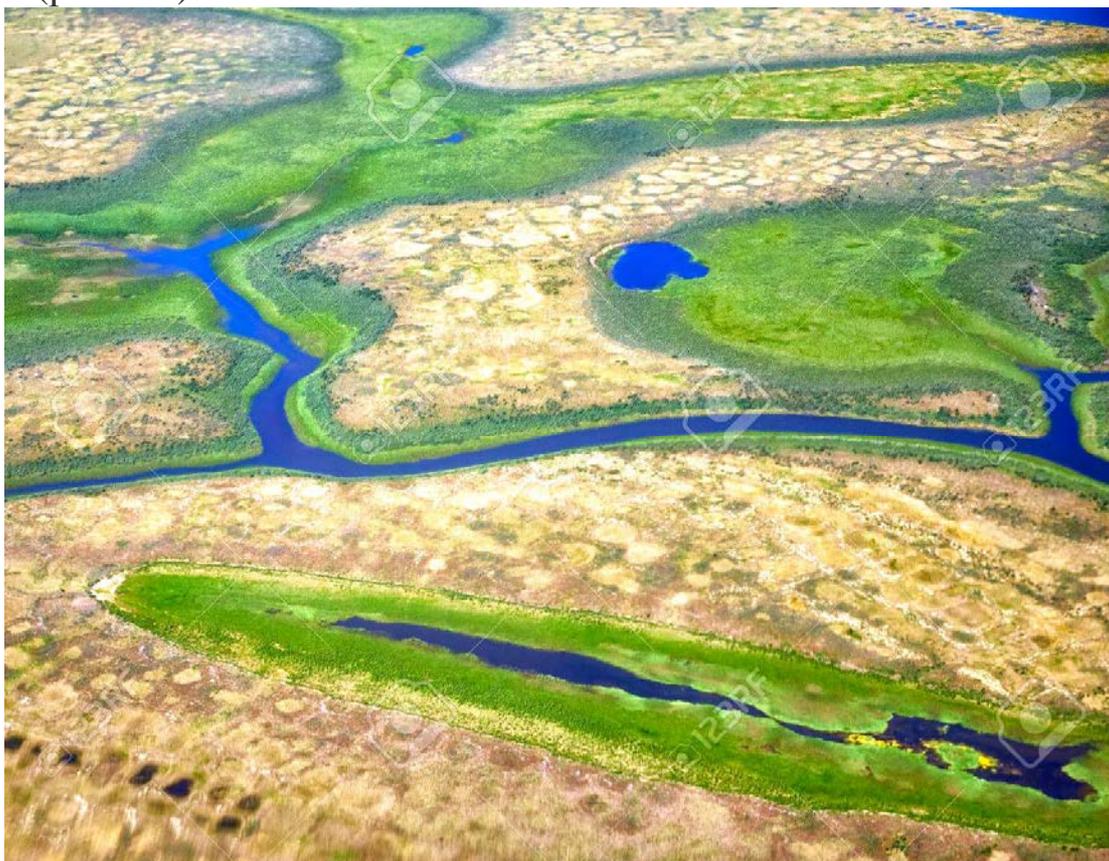
**Рис. 32. Степной ландшафт**

**Зональный тип ландшафта** – ландшафт, сформированный в автономных (элювиальных, плакорных) условиях, т. е. под влиянием атмосферного увлажнения и зональных термических ресурсов.

Наряду с зональными типами ландшафта, могут встречаться всевозможные *интразональные ландшафты*, обусловленные либо повышенным грунтовым увлажнением, либо особыми *эдафическими условиями*. Интразональные ландшафты также зональны (например, зональность болот в Западной Сибири (рис. 33)).

В горах горизонтальная природная зональность трансформируется в вертикальную (высотную) зональность. Высотная зональность в горах во многом зависит от положения

горной страны в пределах той или иной горизонтальной природной зоны (рис. 34).



**Рис. 33. Тундровый ландшафт**



**Рис. 34. Горный ландшафт**

**Плакор** (термин предложен Г.Н. Высоцким) – приводораздельная возвышенно-равнинная территория с незначительным эрозионным расчленением, глубоким залеганием грунтовых вод и сложенная с поверхности суглинистыми отложениями. Плакор развивается в условиях только атмосферного увлажнения и является эталоном географической зональности.

**Лесохозяйственные ландшафты. Принципы лесопользования.** Лесистость суши составляет 27 %, в доагрикультурную эпоху она достигала 70 %. Лесистость России составляет около 48 (51) %. Все леса бывшего СССР подразделяются на три группы государственного значения:

1. 15 % – леса заповедников и национальных парков, почвозащитные и водоохранные леса, санитарно-экологические леса густонаселенных районов, леса рекреационных зон. Разрешены только рубки ухода и санитарные рубки. Леса этой группы представляют собой экологическую инфраструктуру, их функция – природоохранная.

2. 7 % – леса хозяйственно освоенных территорий, включая бассейны главных рек Европейской части быв. СССР и Средней Азии. Это густонаселенные и сельскохозяйственные районы. Лесное хозяйство ориентировано на сохранение и улучшение лесов. Допустимы выборочные рубки пород, достигших зрелости.

3. 78 % – леса промышленного значения, леса главного пользования – Карелия, Архангельская обл., Коми, Сибирь, Дальний Восток. Разрешаются сплошные промышленные рубки. Функция таких лесов – ресурсовоспроизводящая (рис. 35).

В ландшафтоведении лесоводство рассматривается в соответствии с ландшафтно-экологической концепцией (Морозов, Сукачев). Разработана типология лесов, учитывающая состав древостоя и среду их произрастания:

- еловые леса на глинистых и тяжелосуглинистых почвах (рамени);

- широколиственно-еловые леса на легкосуглинистых и среднесуглинистых почвах (сурамени);

- сосновые леса на песках и песчаных почвах (боры);

- дубовые леса на богатых суглинистых почвах, нередко карбонатных (дубравы);

- сосново-дубовые леса и лиственно-дубовые леса на суглинистых почвах на лессовидных суглинках (судубравы) и др.



**Рис. 35. Лесной ландшафт. Сертифицированные рубки в МЛТ в Двинско-Пинежском междуречье**

По богатству почв питательными элементами выделяют лесные трофотопы (местообитания): олиготрофные, мезотрофные и мегатрофные.

*В лесах II и III групп необходимо соблюдение следующих ведущих принципов рационального лесопользования:*

1. Неистощительность, т. е. соблюдение правила расчетной лесосеки. *Расчетная лесосека* – такой объем вырубаемого ежегодно леса, который равен или не превышает ежегодного прироста древесины в данном леспромхозе.

2. Непрерывность.

3. Равномерность.

Два последних принципа обеспечивают длительную сохранность производственной инфраструктуры леспромхозов. При их нарушении населенные пункты, дороги и даже деревообрабатывающие комбинаты могут оказаться незагруженными. Потребуется их создание заново, на новых местах.

*Рекреационные ландшафты. Природные национальные парки.* Массовый отдых, туризм стали своеобразной отраслью народного хозяйства – *рекреационной индустрией*. В современном

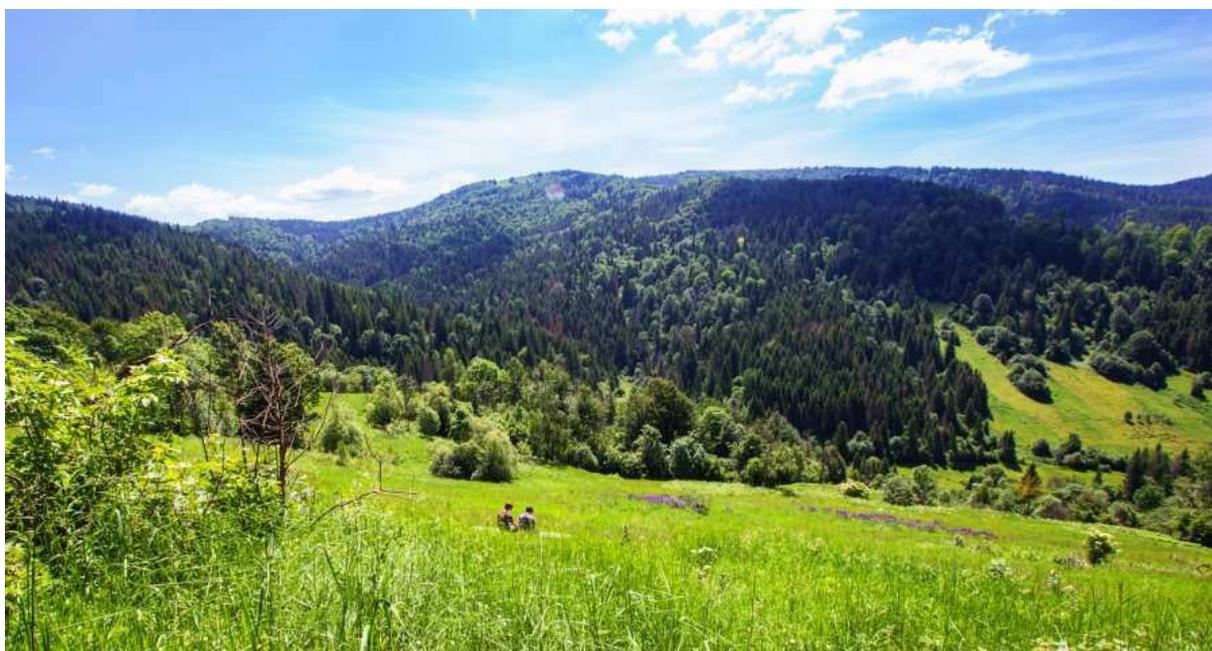
ландшафтоведении сформировалось особое направление – *рекреационное ландшафтоведение*.

Рекреационная экосистема включает природную и техническую подсистемы. По выполняемым функциям принято выделять *следующие типы рекреационных ландшафтов*:

1. Рекреационно-лечебные – ландшафты курортных зон. Эти ландшафты должны обладать особыми природными ресурсами лечебного свойства – *бальнеологическими*. Природная среда значительно преобразована, построены санатории, есть сады, парки, лесопарки, пляжи, бассейны, терренкуры.

2. Рекреационно-оздоровительные – нет бальнеологических ресурсов, но очень благоприятная природная среда: комфортный климат и т. п. Обычно располагаются близ крупных городов. Построены пансионаты, дома отдыха, кемпинги, транспортная сеть; имеются пляжи, дороги и тропы, чистые лесные массивы и водоемы.

3. Рекреационно-спортивные – в основном в горах. Обычно дикая природа. Построены фуникулеры, канатные дороги, развиты спасательные службы (рис. 36).



**Рис. 36. Рекреационно-спортивный ландшафт в горах**

4. Рекреационно-познавательные – воспитательная функция. Имеются уникальные объекты природы, культуры – национальные парки, старинные культурные центры.

Большинство рекреационных комплексов расположено в экотонах. Туристов привлекают природные контрасты. Туристы, предпочитающие дикую, неосвоенную природу без всякой инфраструктуры, называются *туристами*.

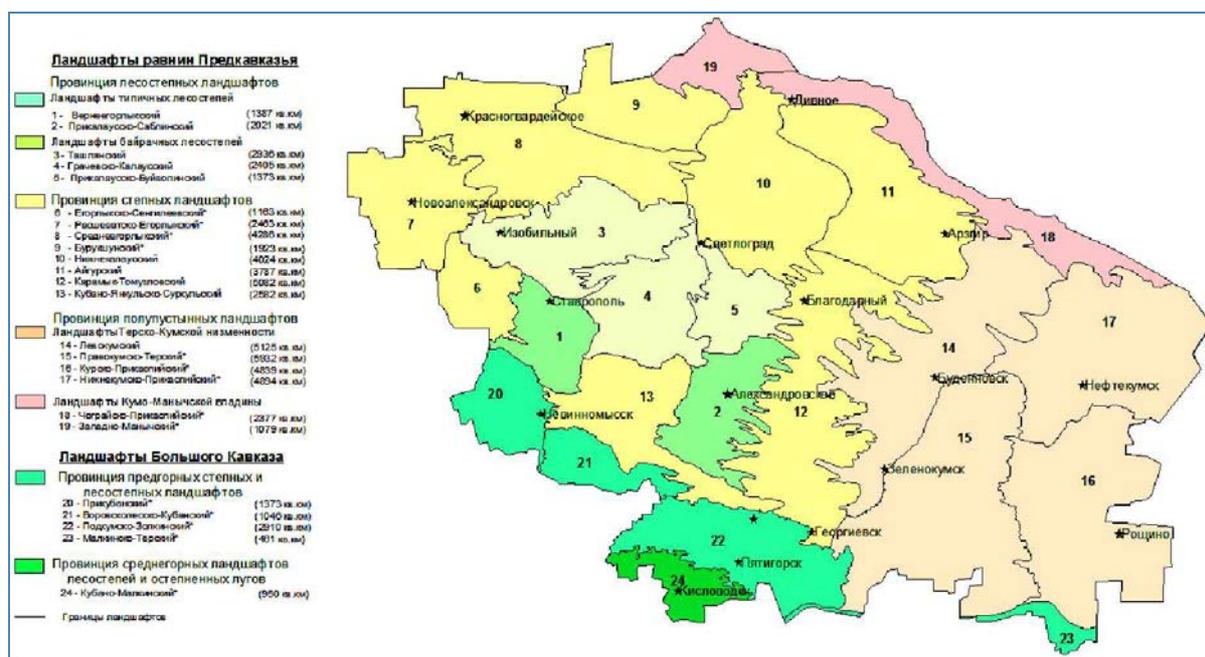
Рекреационные нагрузки приводят к рекреационной дигрессии: вытаптывание растительности и т. п. Существует определенный порог устойчивости. Например, нагрузка в 200 чел. на 1 га леса приводит к его полному разрушению. Часто происходит распространение рудеральной (сорняковой) растительности. Особенно опасны захламенение территории, рекреационный вандализм.

Национальные парки несут воспитательно-познавательные функции. Национальный парк состоит из заповедного ядра (туристов не пускают), буферной зоны (строго регулируемое рекреационное использование) и зоны обслуживания рекреантов. Примеры национальных парков: Йеллоустонский, Татринский, Гауя, Прибайкальский, Русский лес, Лосинный остров.

Для примера распределения ландшафтов по тому или иному региону, мы приведем пример по Ставропольскому краю. Общая площадь земель краевого земельного фонда составляет 6,6 млн га. Преобладающей категорией в его составе являются земли сельскохозяйственного назначения – земли, предоставленные в пользование для нужд сельского хозяйства или предназначенные для этих целей. Земли данной категории служат основным средством производства продуктов питания, имеют особый правовой режим и подлежат особой охране, направленной на сохранение их площади, предотвращение развития негативных процессов и воспроизводство плодородия почв. В Ставропольском крае земли сельскохозяйственного назначения занимают более 92 % площади – 6,1 млн га. Из них сельскохозяйственных угодий – земельных угодий, систематически используемых для получения сельскохозяйственной продукции (по ГОСТ 26640-85) – 5,7 млн га или 92,6 % от площади земель сельхозназначения. В структуре сельскохозяйственных угодий наибольший удельный вес занимает пашня – 69,4 % или 3,9 млн га. Так, согласно ландшафтному районированию, проведенному В.А. Шальневым еще в 2002 году, на территории Ставропольского края выделяются следующие 24 ландшафта, на которых расположены соответствующие административные районы (табл. 3, рис. 37).

**Таблица 3. Распределение ландшафтов на территории  
Ставропольского края (Шальнев В.А., 2002)**

<b>№ ландшаф- тов</b>	<b>Ландшафты</b>	<b>Площадь ланд- шафтов, км<sup>2</sup></b>
1	Верхнеегорлыкский	1387
2	Прикалаусско-Саблинский	2021
3	Ташлянский	2936
4	Грачевско-Калаусский	2405
5	Прикалаусско-Буйволинский	1373
6	Егорлыкско-Сенгилеевский	1163
7	Расшеватско-Егорлыкский	2463
8	Среднеегорлыкский	4286
9	Бурукшунский	1923
10	Нижнекалаусский	4024
11	Айгурский	3787
12	Карамык-Томузловский	5082
13	Кубано-Янкульский	2582
14	Левокумский	5125
15	Правокумско-Терский	5932
16	Курско-Прикаспийский	4839
17	Нижнекумско-Прикаспийский	4894
18	Чограйско-Рагулинский	2377
19	Западно-Манычский	1079
20	Прикубанский	1373
21	Воровсколесско-Кубанский	1046
22	Подкумско-Золкинский	2910
23	Малкинско-Терский	461
24	Кубано-Малкинский	950
<b>В крае</b>		<b>66418</b>



**Рис. 37. Ландшафты Ставропольского края (Шальнев В.А., 2002)**

*Каждый ландшафт содержит основные характеристики:*

1. **Верхнегорлыкский** водораздельный ландшафт типичных лесостепей, структурно-денудационных плато и речных долин.
2. **Прикалаусско-Саблинский** водораздельный ландшафт типичных и байрачных лесостепей, структурно-денудационных плато и речных долин.
3. **Ташлянский** ландшафт байрачных лесостепей, структурно-денудационных плато и речных долин.
4. **Грачевско-Калаусский** ландшафт байрачных лесостепей, высоких эрозионно-денудационных равнин, останцовых плато и речных долин.
5. **Прикалаусско-Буйволинский** ландшафт байрачных лесостепей, структурно-денудационных плато и речных долин.
6. **Егорлыкско-Сенгилеевский** ландшафт злаковых степей, эрозионно-денудационных высоких равнин и депрессий обращенных форм рельефа останцовых плато.
7. **Расшеватско-Егорлыкский** ландшафт злаково-разнотравных степей, эрозионно-аккумулятивных равнин с долинным расчленением.
8. **Среднегорлыкский** ландшафт злаково-разнотравных степей, эрозионно-аккумулятивных равнин с долинно-балочным расчленением.

9. **Бурукшунский** ландшафт злаковых степей, эрозионно-аккумулятивных и аллювиально-озерных равнин.

10. **Нижекалаусский** ландшафт злаковых степей, структурно-денудационных и эрозионно-аккумулятивных равнин.

11. **Айгурский** ландшафт злаковых и полынно-злаковых степей, эрозионно-аккумулятивных равнин с долинно-балочным расчленением.

12. **Карамык-Томузловский** ландшафт злаковых степей эрозионно-аккумулятивных равнин с долинно-балочным расчленением.

13. **Кубано-Янкульско-Суркульский** ландшафт злаковых и злаково-полынных степей, высоких эрозионно-денудационных равнин и речных долин депрессий обращенных форм рельефа.

14. **Левокумский** ландшафт полынно-злаковых степей и аллювиальных аккумулятивных четвертичных равнин.

15. **Правокумско-Терский** ландшафт злаковых степей и аллювиальных аккумулятивных четвертичных равнин.

16. **Курско-Терский** ландшафт полынно-злаковых степей и злаково-полынных полупустынь и аллювиальных морских (дельтовых) аккумулятивных верхнечетвертичных низменностей.

17. **Нижекумско-Прикаспийский** ландшафт злаково-полынных полупустынь и полынных пустынь и молодых морских аккумулятивных равнин.

18. **Чограйско-Прикаспийский** ландшафт злаково-полынных пустынь и аккумулятивно-морских равнин и террас.

19. **Западно-Манычский** ландшафт злаково-полынных полупустынь, террас и аллювиально-озерных равнин.

20. **Прикубанский** ландшафт злаково-разнотравных и дуговидных степей предгорных террасированных наклонных равнин.

21. **Воровсколесско-Кубанский** ландшафт лесостепей, слабо расчлененных моноклиальных гряд палеогеновой куэсты и высоких эрозионно-денудационных равнин.

22. **Подкумско-Золкинский** ландшафт лесостепей, предгорных наклонных аллювиальных террасированных равнин и останцовых магматических гор.

23. **Малкинско-Терский** ландшафт злаково-разнотравных степей и пойменных лугов и предгорных наклонных аллювиальных террасированных равнин.

24. **Кубано-Малкинский** ландшафт лесостепей среднего-

рий, структурно-денудационных моноклитных куэст, междуэстовых эрозионно-тектонических депрессий и речных долин (табл. 4).

Шальнев В.А. (2002) привел распределение территории районов Ставропольского края по ландшафтам округленно, поэтому мы провели дальнейшие исследования и были уточнены площади ландшафтов для более объективной оценки деградационных процессов по агроландшафтам и районам края.

На территории Ставропольского края выделяются следующие природные зоны: полупустынная степная со светло-каштановыми почвами, занимает 18 % территории края; сухая степь с темно-каштановыми и каштановыми почвами – 36 % территории; умеренно засушливая степь с черноземами карбонатными (южными и обыкновенными) – 40 % территории; достаточно увлажненная степь с черноземами слабо выщелоченными, выщелоченными, темно-серыми лесными почвами – 6 % территории.

Две основные почвенные зоны – каштановая занимает 3,5 млн. га и черноземная – 3,1 млн. га. В зоне каштановых почв распространены темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые разновидности, довольно часто в комплексе с засоленными солонцеватыми, интразональными почвами. В черноземной зоне распространены на значительных площадях различные подтипы черноземов, сформировавшиеся в результате преобладающего влияния одного из факторов почвообразования – климата, материнских почвообразующих пород, рельефа. Черноземы типичные занимают наиболее высокие отметки Ставропольской возвышенности и крайнюю предгорную юго-западную часть края. Черноземы слитые солонцеватые приурочены к Армавирской депрессии и склонам Ставропольской возвышенности. Черноземы южные занимают площади на границе с зоной каштановых почв.

**Таблица 4. Распределение территории районов Ставропольского края по ландшафтам**

№ района	Административный район	Итого земель в административных границах, га	Номер ландшафта, его доля (в процентах и гектарах) в территории района														
			№	%	га	№	%	га	№	%	га	№	%	га	№	%	га
1.	Александровский	<b>201432</b>	2	56,6	114012	5	13,3	26790	12	16,7	33639	13	6,7	13496	4	6,7	13495
2.	Андроповский	<b>238777</b>	4	8,3	19818	13	61,1	145893	2	11,1	26504	21	19,5	46562			
3.	Апанасенковский	<b>358398</b>	19	24,1	86374	18	25,9	92825	10	8,6	30822	11	37,9	135834	9	3,5	12543
4.	Арзгирский	<b>338338</b>	18	22,2	75111	11	40,8	138043	12	3,7	12518	14	33,3	112666			
5.	Благодарненский	<b>247081</b>	10	8,6	21249	11	11,4	28167	5	14,3	35333	12	57,1	141083	1 4	8,6	21249
6.	Буденновский	<b>306008</b>	12	6,3	19278	14	58,3	178403	15	35,4	108327						
7.	Георгиевский	<b>191977</b>	12	66,7	128049	14	5,3	10175	15	8,1	15550	22	19,9	38203			
8.	Грачевский	<b>179471</b>	3	32,1	57610	4	64,3	115400	5	3,6	6461						
9.	Изобильненский	<b>193518</b>	7	13,3	25738	8	16,7	32318	6	26,7	51669	3	43,3	83793			
10.	Ипатовский	<b>403575</b>	19	3,0	12107	8	19,7	79504	9	45,5	183627	10	30,3	122283	1 1	1,5	6054
11.	Кировский	<b>138605</b>	22	42,9	59462	15	57,1	79143									
12.	Кочубеевский	<b>236339</b>	1	9,8	23161	20	56,1	132587	13	13,4	31669	21	19,5	46086	6	1,2	2836
13.	Красногвардейский	<b>223608</b>	7	13,9	31081	8	86,1	192527									
14.	Курский	<b>369394</b>	15	28,1	103800	16	61,4	226808	23	10,5	38786						

№ района	Административный район	Итого земель в административных границах, га	Номер ландшафта, его доля (в процентах и гектарах) в территории района														
			№	%	га	№	%	га	№	%	га	№	%	га	№	%	га
15.	Левокумский	<b>468718</b>	18	16,7	78277	14	16,7	78275	15	5,6	26248	17	61,0	285918			
16.	Минераловодский	<b>144309</b>	2	24,9	35933	13	25,1	36222	12	16,7	24100	21	1,7	2453	2 2	31, 6	45601
17.	Нефтекумский	<b>379698</b>	15	1,7	6455	16	46,6	176939	17	51,7	196304						
18.	Новоалександровский	<b>201499</b>	8	0,6	1209	6	4,4	8866	7	95,0	191424						
19.	Новоселицкий	<b>172456</b>	2	15,4	26558	12	61,5	106061	14	23,1	39837						
20.	Петровский	<b>274102</b>	9	11,0	30151	10	23,8	65236	3	16,7	45775	4	20,0	54820	5	28, 5	78120
21.	Предгорный	<b>204723</b>	22	64,7	132456	24	35,3	72267									
22.	Советский	<b>208961</b>	12	12,1	25284	14	27,3	57046	15	60,6	126631						
23.	Степновский	<b>188666</b>	15	60,2	113577	16	39,8	75089									
24.	Труновский	<b>168576</b>	8	57,1	96257	3	42,9	72319									
25.	Туркменский	<b>261196</b>	10	49,2	128509	11	39,4	102911	18	9,9	25858	12	1,5	3918			
26.	Шпаковский	<b>236257</b>	6	19,5	46070	1	43,9	103717	13	9,8	23153	4	7,3	17247	3	19, 5	46070
<b>По краю</b>		<b>6535682</b>															



### 3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

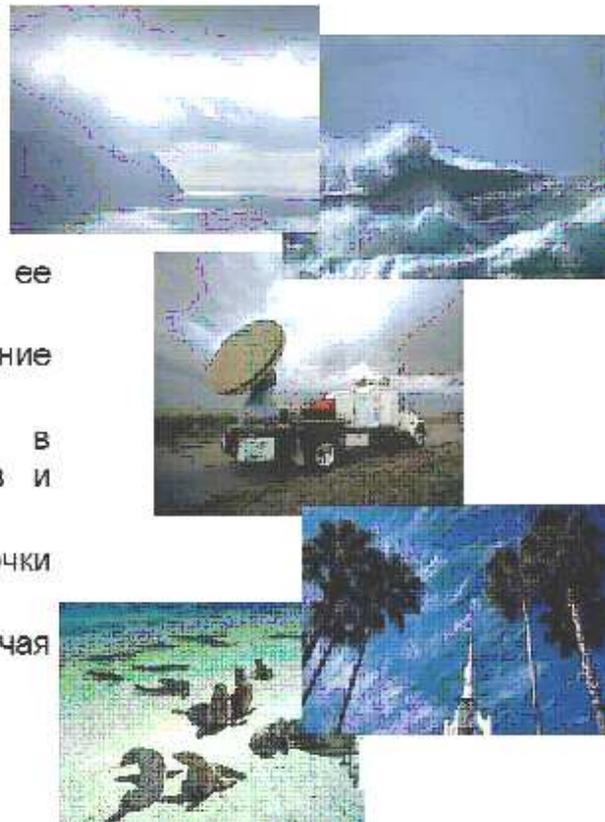
#### 3.1. Глобальный мониторинг окружающей среды

*Состояние окружающей среды, соответственно и среды обитания, непрерывно изменяется. Эти изменения различны по характеру, направленности, величине, неравно-*

*мерно распределены в пространстве и во времени. Естественные, природные, изменения состояния среды имеют весьма важную особенность — они, как правило, происходят около некоторого среднего относительно постоянного уровня. Их средние значения могут существенно изменяться лишь в течение длительных интервалов времени (рис. 38).*

#### Объектами биосферного мониторинга являются:

- радиационный баланс,
- прозрачность атмосферы и ее антропогенное изменение,
- мировой баланс и загрязнение Мирового океана,
- крупномасштабные изменения в биохимических циклах элементов и веществ ( $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N$ ,  $P$ ,  $S$ ,  $H_2O$  и др.),
- энергообмен географической оболочки с космосом,
- мировая миграция животных (включая птиц, насекомых) и растений,
- изменение климата на планете.



**Рис. 38. Основные объекты биосферного мониторинга**

Совсем другой особенностью обладают техногенные изменения состояния среды обитания, которые стали особенно значительными в последние десятилетия. Техногенные изменения в отдельных

случаях приводят к резкому, быстрому изменению среднего состояния природной среды в регионе.

Для изучения и оценки негативных последствий техногенного воздействия возникла необходимость организации специальной системы контроля (наблюдения) и анализа состояния окружающей среды, в первую очередь из-за загрязнений и эффектов, вызванных ими в среде. Такую систему называют системой мониторинга состояния окружающей среды, которая является частью универсальной системы контроля состояния окружающей среды (рис. 39).



**Рис. 39. Составные части общей экологии**

Мониторинг представляет собой комплекс мероприятий по определению состояния окружающей среды и отслеживанию изменений в ее состоянии. **Основными задачами мониторинга являются:**

- систематические наблюдения за состоянием среды и источниками, воздействующими на окружающую среду;
- оценка фактического состояния природной среды;
- прогноз состояния окружающей среды и оценка прогнозируемого состояния последней.

С учетом обозначенных задач мониторинг — это система наблюдений, оценки и прогноза состояния среды обитания. Мониторинг является многоцелевой информационной системой (рис. 40).

**Мониторинг** –это наблюдение, оценка, анализ состояния изменения окружающей природной среды. (1972, Стокгольмская конференция)



Рис. 40. Виды мониторинга

Контроль состояния среды включает наблюдение за источниками и факторами техногенного воздействия (в том числе источниками загрязнений, излучений и т. п.) — химическими, физическими, биологическими — и за последствиями, вызываемыми этими воздействиями на окружающую среду.

Наблюдение осуществляют по физическим, химическим и биологическим показателям. Особенно эффективными представляются интегральные показатели, характеризующие состояние окружающей среды. При этом подразумевается получение данных о первоначальном (или фоновом) состоянии среды.

Наряду с наблюдением одной из основных задач мониторинга является оценка тенденций изменений состояния окружающей среды. Подобная оценка должна дать ответ на вопрос о неблагоприятности положения, указать, чем именно обусловлено такое состояние, помочь определить действия, направленные на восстановление или нормализацию положения, или, наоборот, указать на особо благоприятные ситуации, позволяющие эффективно использовать имеющиеся экологические резервы природы в интересах человека.

В настоящее время различают следующие системы мониторинга (рис. 41).

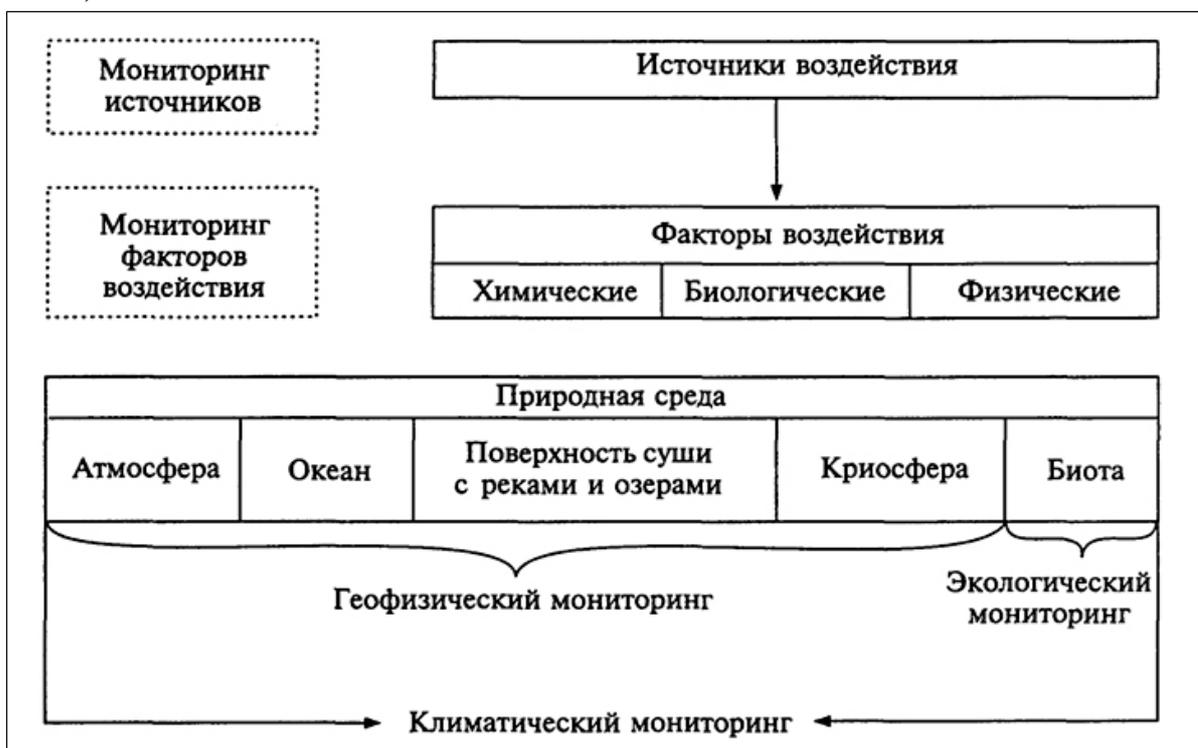


Рис. 41. Блок-схема система мониторинга

**Экологический мониторинг** — универсальная система, целью которой являются оценка и прогноз за реакцией основных составляющих биосферы. Он включает геофизический и биологический мониторинги. К геофизическому мониторингу относится определение состояния крупных систем — погоды, климата. Основной задачей биологического мониторинга является определение реакции биосферы на техногенное воздействие.

**Мониторинг в различных средах (различных сред)** — включающий мониторинг приземного слоя атмосферы и верхней атмосферы; мониторинг гидросферы, т. е. поверхностных вод суши (рек, озер, водохранилищ), вод океанов и морей, подземных вод; мониторинг литосферы (в первую очередь почвы) (рис. 42).

**Мониторинг факторов воздействия** — это мониторинг различных загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и других факторов воздействия, к которым можно отнести электромагнитное излучение, тепло, шумы.

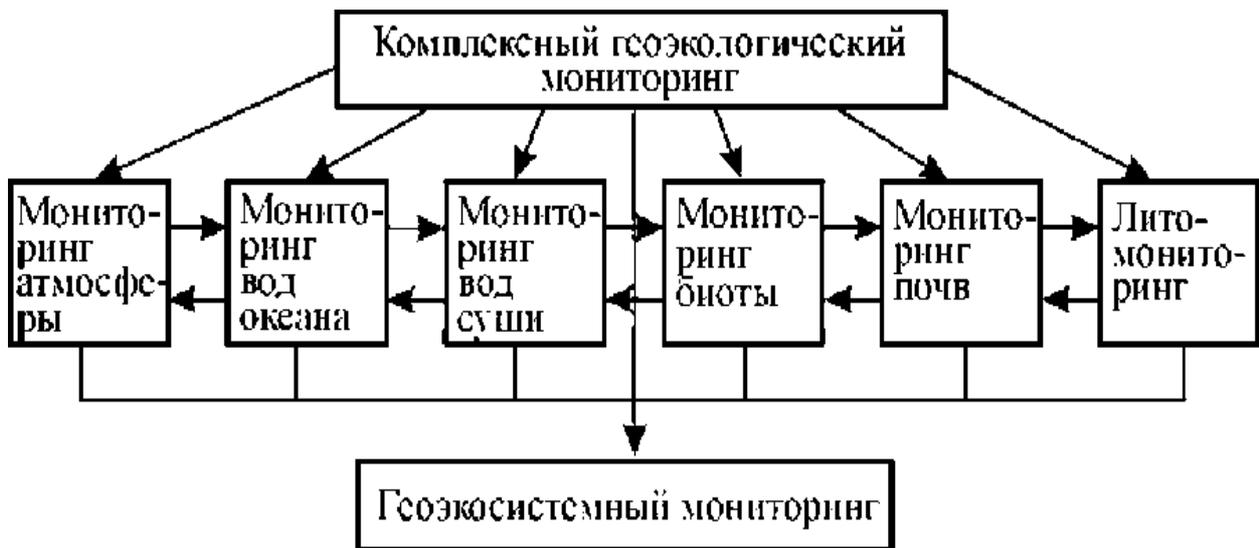


Рис. 42. Комплексный геоэкологический мониторинг

**Мониторинг сред обитания человека** — включающий Мониторинг природной среды, городской, промышленной и бытовой сред

обитания человека.

**Мониторинг по масштабам воздействия** — пространственным, временным, на различных биологических уровнях.

**Фоновый мониторинг** — базовый вид мониторинга, имеющий целью знание фонового состояния биосферы (как в настоящее время, так и в период до заметного влияния человека). Данные фонового мониторинга необходимы для анализа результатов всех видов мониторинга.

**Территориальный мониторинг** — включающий системы мониторинга техногенных загрязнений, в основу классификации которых положен территориальный принцип, так как данные системы являются важнейшей составной частью мониторинга окружающей среды.

**Различают следующие системы (подсистемы) территориального мониторинга:**

- глобальный — проводимый на всем земном шаре или в пределах одного-двух материков;
- государственный — проводимый на территории одного государства;

- региональный — проводимый на большом участке территории одного государства или сопредельных участках нескольких государств, например, внутреннем море и его побережье;
- локальный — проводимый на сравнительно небольшой территории города, водного объекта, района крупного предприятия и т. п.;
- «точечный» — мониторинг источников загрязнения, являющийся по сути импактным, максимально приближенным к источнику поступления загрязняющих веществ в окружающую среду;
- фоновый — данные которого необходимы для анализа результатов всех видов мониторинга.

**Глобальный мониторинг.** В 1971 г. Международный совет научных союзов впервые сформулировал принципы построения глобальной системы мониторинга состояния биосферы и определил показатели, за которыми следует установить постоянные наблюдения и контроль. В 1972 г. Стокгольмская конференция ООН по окружающей среде одобрила эти основные принципы, а в рамках Программы ЮНЕП (Программа ООН по проблемам окружающей среды) в 1973-1974 гг. были разработаны основные положения создания Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС). *На совещании в Найроби (1974 г.) определены следующие задачи ГСМОС:*

- организация расширенной системы предупреждения об угрозе здоровью человека;
- оценка глобального загрязнения атмосферы и его влияния на климат;
- оценка количества и распределения загрязнителей биосферы, особенно пищевых цепей;
- оценка реакции наземных экосистем на загрязнение окружающей среды;
- оценка загрязнения океана и его влияния на морские Экосистемы;
- создание и усовершенствование системы предупреждения о стихийных бедствиях в международном масштабе.

Важным условием эффективности мер по преодолению экологического кризиса на глобальном, региональном и местном уровнях является создание системы экологического мониторинга.

Термин «мониторинг» образован от лат. monitor – напоминающий, надзирающий. Данным термином обозначают постоянное на-

блюдение за каким-либо объектом (в частности, процессом) с целью выявления его динамики и соответствия ожидаемому результату или первоначальным предположениям.

Одно из наиболее четких определений мониторинга было предложено академиком РАН Ю. А. Израэлем в 1974 г.: мониторинг состояния природной среды, и в первую очередь загрязнений и эффектов, вызываемых ими в биосфере, - комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий (рис. 43).

● БЛОК-СХЕМА МОНИТОРИНГА (по Ю. А. Израэлю)



● ВИДЫ МОНИТОРИНГА



**Рис. 43. Блок-схема мониторинга окружающей среды по Ю.А. Израэлю**

В Программе ЮНЕСКО от 1974 г. экологический мониторинг определен как система регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающая информацию о прошлом и настоящем состояниях окружающей среды, позволяющая прогнозировать на будущее изменение ее параметров, имеющих особенное значение для человечества (рис. 44).



**Рис. 44. Глобальные проблемы по изменению климата на Земле**

Экологический мониторинг предполагает контроль за изменением состояния окружающей среды под влиянием как природных, так и антропогенных факторов. *Экологический мониторинг призван решать следующие основные задачи:*

- наблюдение за состоянием окружающей среды и факторами, воздействующими на нее;
- оценку фактического состояния окружающей среды и уровня ее загрязнения;
- прогноз состояния окружающей среды в результате возможных загрязнений и оценку этого состояния.

***Мониторинг антропогенных воздействий предусматривает:***

- наблюдение за источниками антропогенного воздействия;
- наблюдение за факторами антропогенного воздействия;
- наблюдение за состоянием природной среды и происходящими в ней процессами под влиянием факторов антропогенного воздействия;
- оценку физического состояния природной среды;
- прогнозирование изменений природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния природной среды.

**По объектам наблюдения различают:** атмосферный, воздушный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения и т.д.

Различают также экологический мониторинг факторов и источников загрязнений.

**Мониторинг факторов воздействия** – мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, радиоактивные излучения, солнечная радиация, акустические шумы и шумовые вибрации).

**Мониторинг источников загрязнений** – мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

Классификация систем мониторинга может основываться и на методах наблюдения (мониторинг по физико-химическим и биологическим показателям, дистанционный мониторинг и др.).

**Химический мониторинг** – это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, животных и контроль за динамикой распространения химических загрязняющих веществ. Глобальной задачей химического мониторинга является определение фактического уровня загрязнения окружающей среды приоритетными высокотоксичными ингредиентами.

**Физический мониторинг** – система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду (электромагнитные излучения, радиация, акустические шумы и т.д.).

**Биологический мониторинг** – мониторинг, осуществляемый с помощью биоиндикаторов (т.е. таких организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде).

**Экобиохимический мониторинг** – мониторинг, базирующийся на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической).

**Дистанционный мониторинг** – в основном авиационный, космический мониторинг с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способной осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных.

Наиболее информативным и достоверным является комплексный экологический мониторинг окружающей среды. *Комплексный экологический мониторинг окружающей среды* – это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и других живых организмов (рис. 45).

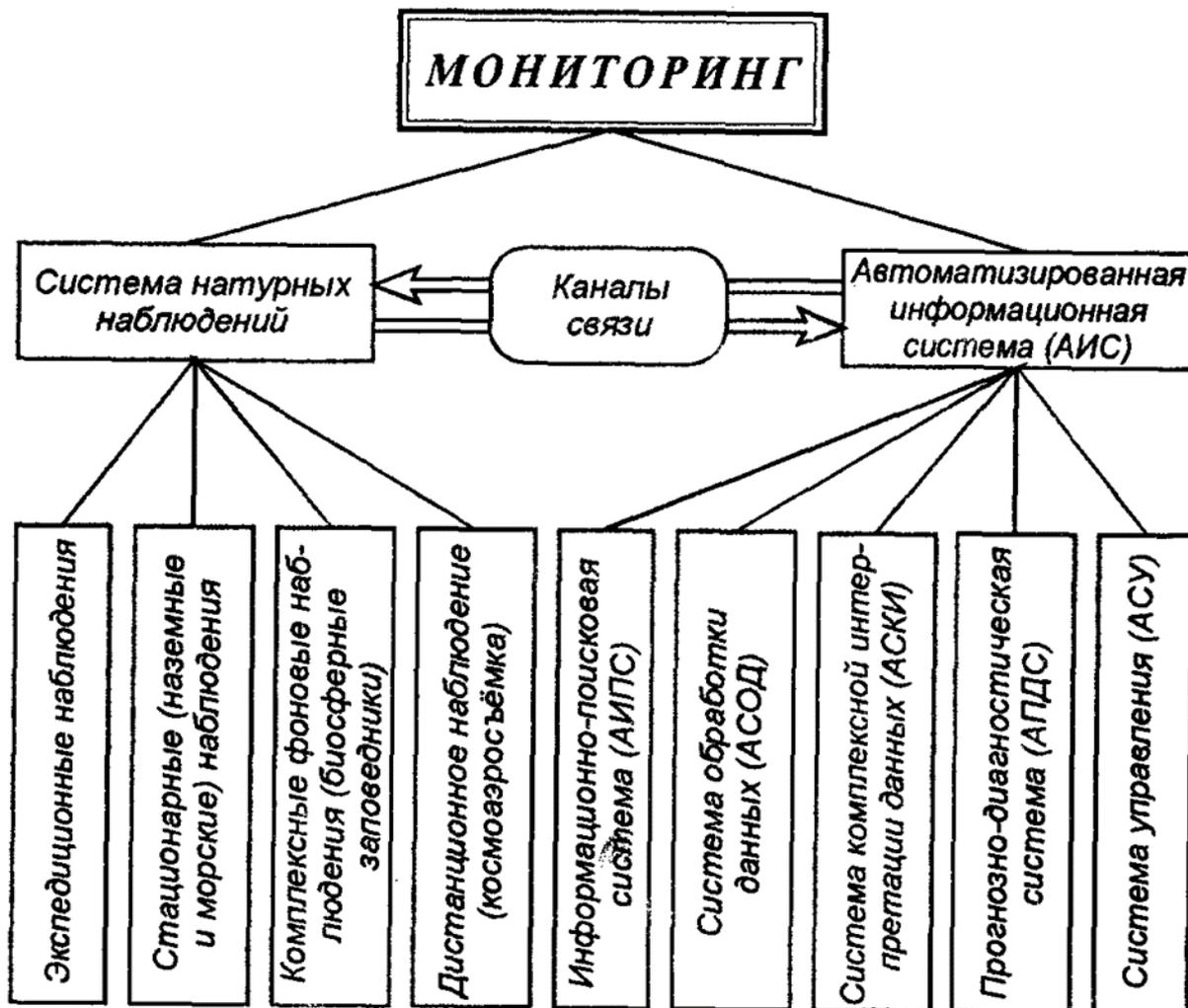


Рис. 45. Составные части мониторинга окружающей среды

*При проведении комплексного экологического мониторинга окружающей среды:*

- проводится постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов и т.д.), а также оценка состояния и функциональной целостности экосистем;

- создаются условия для определения корректирующих действий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются.

**Система комплексного экологического мониторинга предусматривает:**

- выделение объекта наблюдения;
- обследование выделенного объекта наблюдения;
- составление для объекта наблюдения информационной модели;
- планирование измерений;
- оценку состояния объекта наблюдения и идентификацию его информационной модели;
- прогнозирование изменения состояния объекта наблюдения;
- предоставление информации в удобной для использования форме и доведение ее до потребителя (табл. 5).

**Таблица 5. Классификация систем (подсистем) мониторинга**

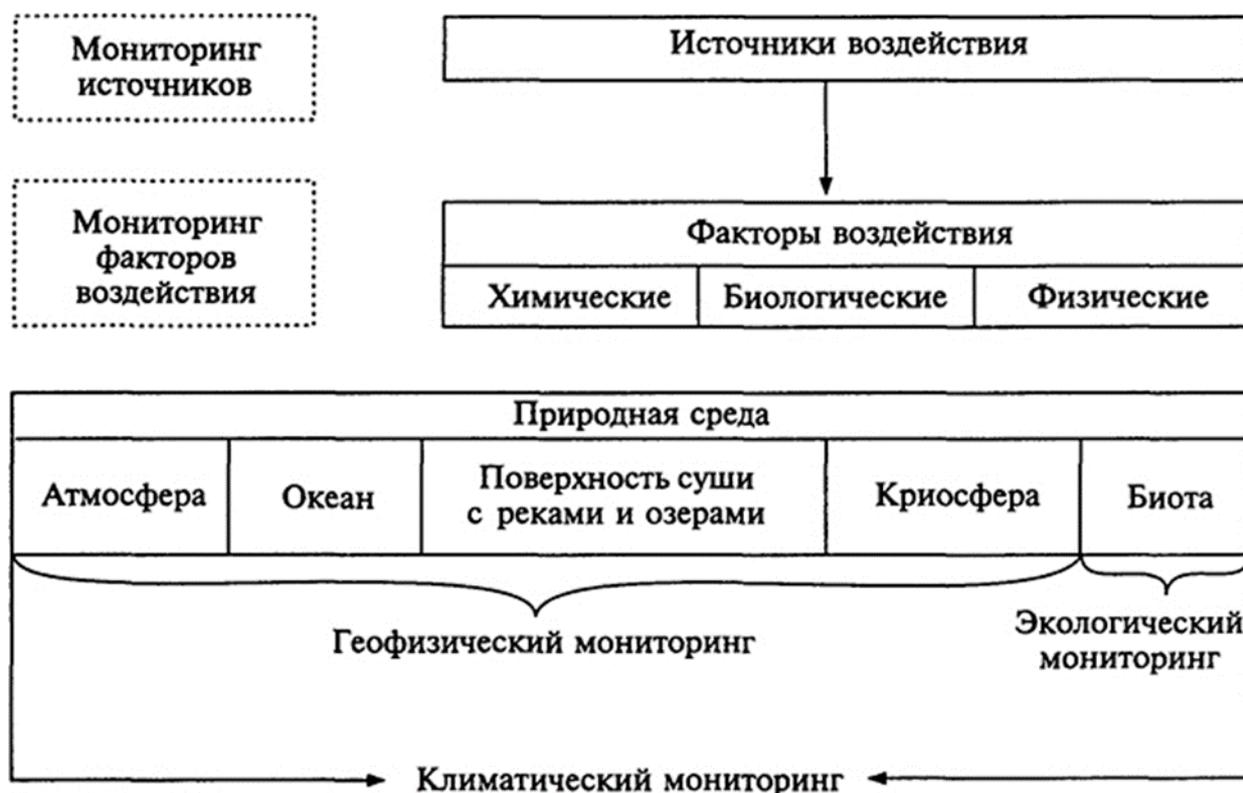
<b>Принцип классификации</b>	<b>Существующие или разрабатываемые системы (подсистемы) мониторинга</b>
<b>1. Универсальные системы</b>	Глобальный мониторинг (базовый, региональный, импактный уровни) Национальный мониторинг Международный мониторинг
<b>2. Реакция основных составляющих биосферы</b>	Геофизический мониторинг Биологический мониторинг Экологический мониторинг (включая вышеназванные)
<b>3. Различные среды</b>	Мониторинг загрязнений и изменений в атмосфере, гидросфере, почве, загрязнений биоты
<b>4. Факторы и источники воздействия</b>	Ингредиентный мониторинг (радиоактивных продуктов, шумов) Мониторинг источников загрязнения
<b>5. Острота и глобальность проблемы</b>	Мониторинг океана Мониторинг озоносферы Мониторинг генетический
<b>6. Методы наблюдений</b>	Мониторинг по физическим, химическим, биологическим показателям Спутниковый (дистанционный) мониторинг
<b>7. Системный подход</b>	Медико-биологический мониторинг Экологический мониторинг Климатический мониторинг

**Основные цели комплексного экологического мониторинга состоят в том, чтобы на основании полученной информации:**

1) оценить показатели состояния и функциональной целостности экосистем и среды обитания человека (т.е. провести оценку соблюдения экологических нормативов);

2) выявить причины изменения этих показателей и оценить последствия таких изменений, а также определить корректирующие меры в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются (т.е. провести диагностику состояния экосистем и среды обитания);

3) создать предпосылки для определения мер по исправлению возникающих негативных ситуаций до того, как будет нанесен ущерб, т.е. обеспечить заблаговременное предупреждение негативных ситуаций (рис. 46).



**Рис. 46. Климатический мониторинг окружающей среды и источники воздействия**

*По характеру обобщения информации различают следующие виды (уровни) мониторинга:*

*а) импактный* – мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах и местах

*б) локальный* – мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника;

*в) региональный* – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут различаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы;

*г) национальный* – мониторинг в масштабах страны;

*д) базовый (фоновый)* – слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний;

*е) глобальный* – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях.

Глобальный мониторинг предусматривает создание и обеспечение постоянного функционирования сети наблюдений за общемировыми процессами и явлениями в биосфере и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях. Приоритетным направлением в системе глобального мониторинга было признано осуществление наблюдений за уровнем загрязнений природной среды и связанных с ним факторов воздействия. Другие направления деятельности мониторинга в масштабах общепланетарных экологических проблем, актуальность которых подтверждена в наше время, касаются защиты озонового слоя Земли, изучения климата, регулирования использования природных ресурсов, сохранения биоразнообразия (рис. 47).

Первоначально международное сотрудничество по организации глобального мониторинга строилось на основе международных и национальных систем, в частности, гидрометеорологических служб европейских государств, в том числе Советского Союза. В 1975 г. совместными усилиями мирового сообщества в рамках ЮНЕП была создана система глобального мониторинга окружающей среды - ГСМОС (The Global Environmental Monitoring System). ***В рамках программ ГСМОС, которые в настоящее время поддерживает ЮНЕП, выделяются основные программы:***

- мониторинг климатических условий;
- мониторинг переноса и осаждения загрязняющих веществ;
- мониторинг Мирового океана;
- мониторинг возобновляемых природных ресурсов;
- мониторинг для целей здравоохранения.



**Рис. 47. Классификация видов природопользования**

При создании ГСМОС в максимальной степени были использованы существующие в 1970-х гг. станции Всемирной метеорологической организации (ВМО), европейская система мониторинга трансграничного загрязнения воздуха и водных пространств, система наблюдений атмосферных осадков и долгоживущих радиоактивных изотопов и биосферные заповедники.

ГСМОС основывается на подсистемах национального экологического мониторинга и включает в себя элементы этих подсистем. Роль агентства по глобальному мониторингу заключается в обеспечении и руководстве наблюдениями, сборе данных, координации деятельности, в том числе унификации методов экологических исследований. *Международное сотрудничество России в рамках ГСМОС включает в себя:*

- создание сети наземных наблюдений, регулярные экспедиционные обследования и систему дистанционного зондирования Земли;

- разработку и внедрение единых методик организации наблюдений, отбора и анализа проб компонентов окружающей среды;
- организацию контроля точности и сопоставимости данных наблюдения;
- использование современных систем хранения и передачи данных (рис. 48).

Функции					
Задачи				Цели	
Наблюдение	Выявление	Анализ	Моделирование	Оценка	Прогноз
За состоянием окружающей среды	Изменений окружающей среды, связанных с деятельностью человека	Наблюдаемых изменений	Изменений экологической ситуации	Состояния окружающей среды	Предполагаемых изменений состояния окружающей среды

**Рис. 48. Функции мониторинга состояния окружающей среды**

В системе глобального экологического мониторинга центральное место занимает фоновый (базовый) мониторинг, развитие которого связано с созданием сети станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ) главным образом на базе биосферных заповедников. Сеть биосферных заповедников является также составной частью национального экологического мониторинга.

На станциях КФМ реализуется один из принципов фонового мониторинга – комплексное изучение содержания загрязняющих веществ в компонентах экосистем. В связи с этим программа наблюдений на СКФМ включает в себя систематические измерения содержания загрязняющих веществ одновременно во всех средах, дополненные гидрометеорологическими данными. *Как правило, наблюдения на СКФМ проводятся по единой программе, включающей в себя:*

- перечень приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, осадках, поверхностных водах, донных отложениях, почве, растительности и тканях животных;
- перечень гидрометеорологических параметров;
- периодичность проведения наблюдений и измерений.

Наряду с СКФМ сведения для ГМОС и национальных систем мониторинга предоставляют многочисленные специализированные станции, посты и пункты наблюдения за химическим составом и кислотностью осадков, за загрязнением почв и состоянием растительности, за загрязнением морской среды по гидрохимическим показателям, за загрязнением снежного покрова и др.

С середины 2000-х гг. реализуется международный проект Глобальная система изучения Земли – Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), координируемый Группой по наблюдению за Землей (GEO). В осуществлении проекта, развивающегося на основе 10-летнего Плана реализации (2005-2015 гг.), участвуют 75 стран (в том числе Россия) и 51 организация.

Основная задача GEOSS – объединение в единую систему источников данных об окружающей среде (станции, пункты и посты наблюдения за состоянием, загрязнением среды, метео- и сейсмо-станции, атмосферные зонды, космические аппараты и др.) и компьютеризированных средств поддержки принятия решений, а также обеспечение доступа к системе конечных пользователей экологической информации. Конечным результатом должна стать глобальная общественная инфраструктура. Многие эксперты считают, что успех реализации данного проекта может иметь определяющее значение для того, насколько эффективно сможет человечество противостоять будущим природным катаклизмам.

**Инженерная защита окружающей среды.** Основными направлениями инженерной защиты окружающей среды являются:

- внедрение ресурсосберегающих и малоотходных технологий;
- биотехнология;
- утилизация отходов;
- экологизация производства.

**Малоотходные технологии** – это способ производства, который обеспечивает максимально полное использование перерабатываемого сырья и образующихся при этом отходов – таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования.

**Биотехнология.** Биотехнологические процессы основаны на создании необходимых для человека продуктов, явлений и эффектов с помощью микроорганизмов. Биотехнология находит широкое применение при очистке сточных вод, утилизации твердых быто-

вых отходов, восстановлении загрязненных почв и в ряде других процессов.

**Утилизация отходов** включает инженерные решения, направленные на создание очистных сооружений, переработку, утилизацию и детоксикацию отходов производства и потребления.

**Экологизация производства** означает такую организацию производства, при которой обеспечивалось бы включение всех видов взаимодействия с окружающей средой в естественные циклы круговорота веществ.

**Основные экологические нормативы:**

**Качество окружающей природной среды**, т.е. степень соответствия ее характеристик потребностям человека и технологическим требованиям, оценивается с помощью экологических нормативов. К основным экологическим нормативам относятся:

- санитарно-гигиенические нормативы: ПДК, ПДУ;
- производственно-хозяйственные: ПДВ, ПДС;
- комплексные показатели качества окружающей природной среды: ПДН.

**Предельно допустимая концентрация (ПДК)** представляет собой количество загрязнителя в почве, воздушной или водной среде, которое при постоянном или временном воздействии на человека не влияет на его здоровье и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства. ПДК устанавливаются на основе комплексных исследований и постоянно контролируются органами Госкомсанэпиднадзора. В нашей стране действует >1900 ПДК вредных веществ для водоемов, > 500 – для атмосферного воздуха и > 130 – для почв.

Для нормирования содержания вредных веществ в атмосферном воздухе установлены два норматива – разовая и среднесуточная ПДК.

**ПДК<sub>мр</sub> – максимально разовая ПДК** – это такая концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна вызывать при вдыхании его в течение 30 мин рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, изменение световой чувствительности глаз и др.).

**ПДК<sub>сс</sub> – среднесуточная ПДК** – это такая концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании.

Для производственных помещений установлен норматив **ПДК рабочей зоны (ПДК<sub>рз</sub>)**.

Для вредных веществ безопасная концентрация в окружающей среде определяется следующим выражением:

$$C \leq \text{ПДК} - C_{\text{ф}},$$

где  $C$  – фактическая концентрация вредного вещества;

$C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация вредного вещества.

При содержании в воздухе нескольких загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия (синергизмом), например,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ ;  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  и формальдегида, общее загрязнение окружающей среды не должно превышать единицы:

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

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – фактические концентрации вредных веществ в воздухе;

$\text{ПДК}_1, \dots, \text{ПДК}_n$  –  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ , установленные для изолированного присутствия этих веществ ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

**Предельно допустимый уровень (ПДУ)** физического воздействия (радиационного воздействия, шума, вибрации, магнитных полей и др.) – это уровень, который не представляет опасности для здоровья человека, состояния животных, растений, их генетического фонда.

**Предельно допустимый выброс (ПДВ)** или **сброс (ПДС)** – это максимальное количество загрязняющих веществ, которое может быть выброшено данным конкретным предприятием в атмосферу (ПДВ) или сброшено в водоем (ПДС), не вызывая при этом превышения в них ПДК загрязняющих веществ и неблагоприятных экологических последствий.

**Предельно допустимая нагрузка на природную среду (ПДН)** – это максимально возможные антропогенные воздействия на природные ресурсы или комплексы, не приводящие к нарушению устойчивости экологических систем. Вводится такое понятие как экологическая емкость территории – потенциальная способность природной среды перенести какую-либо антропогенную нагрузку без нарушения основных функций экосистем.

***Для оценки устойчивости экосистем к антропогенным воздействиям используются следующие показатели:***

- запасы живого и мертвого органического вещества;
- эффективность образования органического вещества;
- видовое и структурное разнообразие.

Эти показатели определяют способность экосистемы восстанавливаться в случае антропогенного воздействия, определяют стабильность среды обитания.

***Экологический мониторинг*** – комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или отдельных ее элементов под влиянием антропогенных воздействий.

***Мониторинг включает в себя следующие основные направления:***

- наблюдение за состоянием окружающей среды и факторами, воздействующими на нее;
- оценку фактического состояния окружающей среды;
- прогноз состояния окружающей среды в результате возможных загрязнений и оценку прогнозируемого состояния.

***По объектам наблюдения*** различают атмосферный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения и т.д.

***Классификация мониторинга, основанная на методах наблюдения:***

- химический мониторинг – система наблюдений за химическим составом атмосферы, вод, почв и т.д.;
- физический мониторинг – система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду;
- биологический мониторинг – осуществляется с помощью биоиндикаторов (организмы, по состоянию которых судят об изменениях в окружающей среде);
- экобиохимический мониторинг – базируется на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической);
- дистанционный мониторинг – например, космический или авиационный.

***Сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством среды, но является источником информации, необходимой для принятия экологически значимых решений.***

***В 1975 г. была организована Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС) под эгидой ООН, но***

***эффективно действовать она начала только в последнее время. Эта система состоит из 5 взаимосвязанных подсистем:***

- изучение климатических изменений,
- дальнего переноса загрязняющих среду веществ,
- гигиенических аспектов среды,
- исследования Мирового океана
- исследования ресурсов суши.

Существуют 22 сети действующих станций системы глобального мониторинга, а также международные и национальные системы мониторинга. Одна из главных идей мониторинга – выход на принципиально новый уровень компетентности во время принятия решений локального, регионального и глобального масштабов.

Технологии единого экологического мониторинга (ЕЭМ) охватывают разработку и использование средств, систем и методов наблюдений, оценки и выработки рекомендаций и управляющего воздействия в природно-техногенной сфере, прогнозы её эволюции, энерго-экологические и технологические характеристики производственной сферы, медико-биологические и санитарно-гигиенические условия существования человека и биоты. Комплексность экологических проблем, их многоаспектность, теснейшая связь с ключевыми отраслями экономики, обороны и обеспечением защиты здоровья и благополучия населения требует единого системного подхода к решению проблемы. ***Мониторинг в целом создан, чтобы предотвратить различные экологические проблемы, а также разрушение экосистем.***

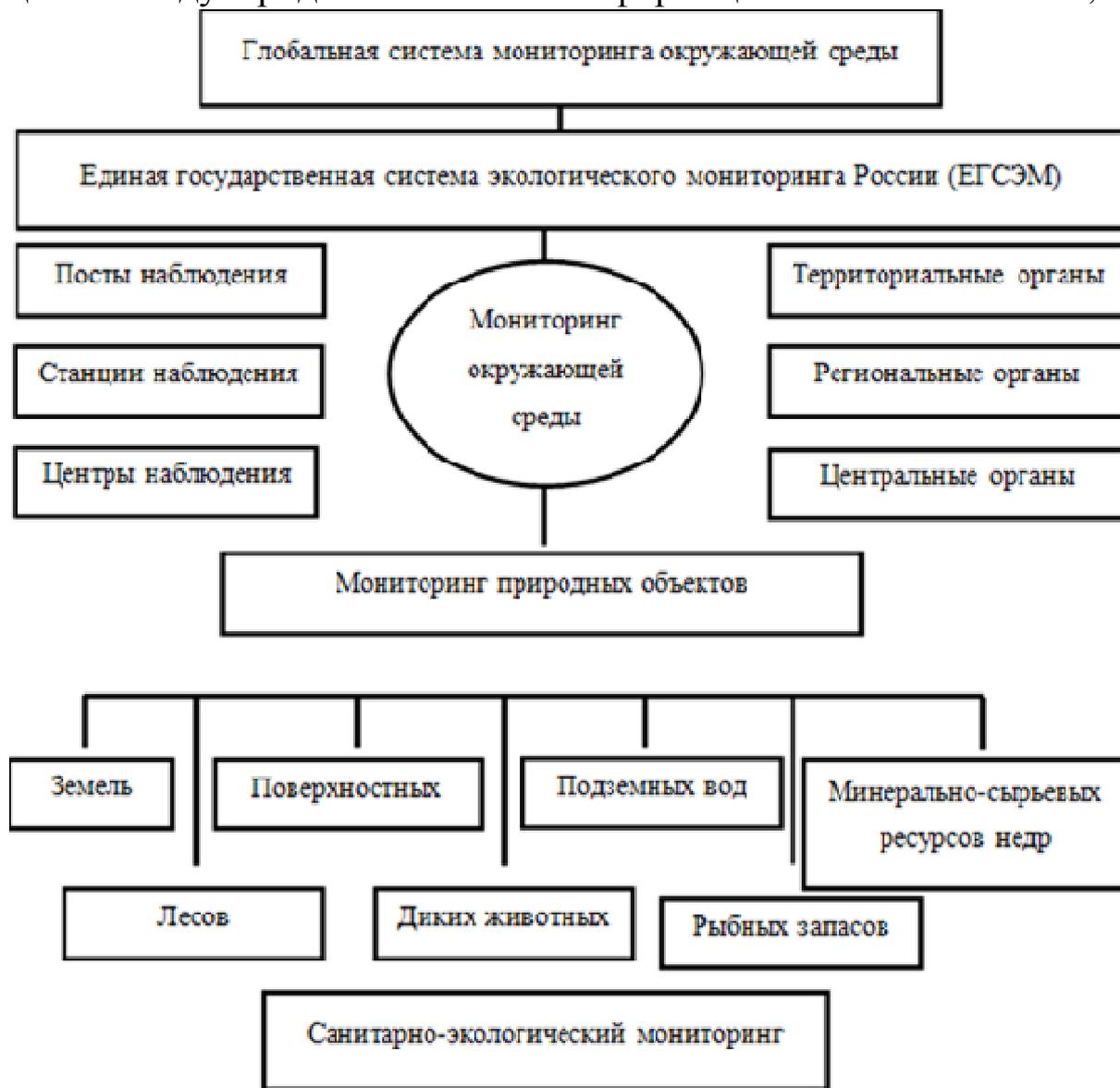
### **3.2. Государственный мониторинг окружающей среды в России**

***Государственный мониторинг. С 1994 г. в Российской Федерации проводится в рамках Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ) (рис. 49).***

#### ***Задачи ЕГСЭМ:***

- разработка программ наблюдения состояния окружающей среды;
- организация наблюдений и проведение измерений показателей объектов экологического мониторинга;
- обеспечение достоверности и сопоставимости данных наблюдений;

- организация хранения данных, создание специализированных банков данных;
- гармонизация банков и баз данных экологической информации с международными эколого-информационными системами;



**Рис. 49. Единая государственная система экологического мониторинга России (ЕГСЭМ)**

- оценка и прогноз состояния окружающей среды, антропогенного воздействия на нее, откликов экосистем и здоровья населения на изменения состояния окружающей среды;
- организация и проведение оперативного контроля и прецизионных измерений радиоактивных и химических загрязнений при авариях и катастрофах, прогноз последствий и оценка ущерба;

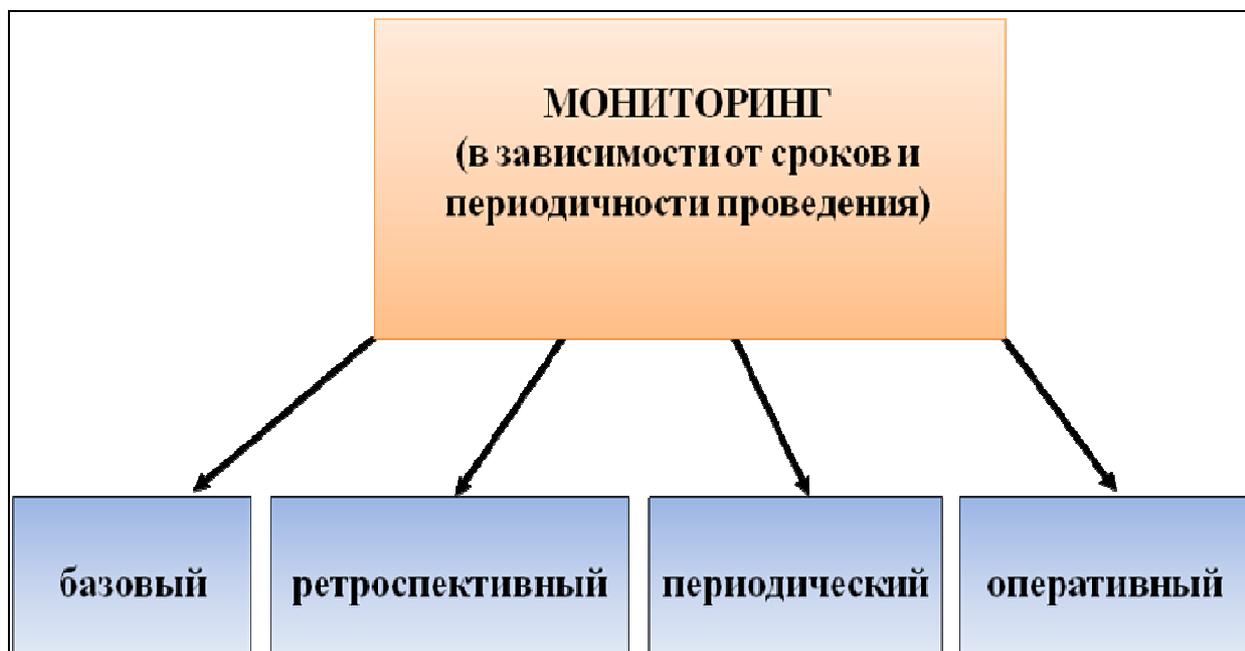
- обеспечение доступности интегрированной экологической информации широкому кругу потребителей (центральному и местному руководству, ведомствам и организациям, населению);
- информационное обеспечение органов управления состоянием окружающей среды, природных ресурсов и экологической безопасностью;
- разработка и реализация единой научно-технической политики в области экологического мониторинга (рис. 50, 51).



**Рис. 50. Виды мониторинга окружающей природной среды**

**Региональный мониторинг.** На территории крупных регионов больших государств, например, таких, как Российская Федерация, США, Канада и т. п., организуется региональный мониторинг. Он не только является частью государственного мониторинга, но и решает задачи, специфические для данной территории. Основная задача регионального мониторинга — получение более полной и детальной информации о состоянии окружающей среды региона и воздействии на нее техногенного фактора, что не представляется возможным сделать в рамках глобального и государственного мониторинга, так как в их программах нельзя учесть особенности каждого региона.

**Локальный мониторинг.** Этот мониторинг является составной частью регионального и организуется для решения задач исключительно местного масштаба.



**Рис. 51. Виды мониторинга в зависимости от сроков проведения**

При организации и проведении локального мониторинга необходимо определить приоритетные загрязнители, за которыми уже ведутся наблюдения в рамках глобального, государственного и регионального мониторинга (или хотя бы большинство из них), а также загрязнители от имеющихся источников загрязнения или на основе изучения технологических регламентов (проектов) создаваемых производств (рис. 52).

По результатам локального мониторинга соответствующие компетентные органы могут приостановить деятельность предприятий, приводящих к сверхнормативному загрязнению окружающей среды, до ликвидации аварийной ситуации и ее последствий или улучшения технологического процесса, устраняющего возможность загрязнения. В особых случаях может ставиться вопрос о полном закрытии предприятия, его репрофилировании или переносе в другую местность.

**«Точечный» мониторинг.** Он представляет собой постоянное или эпизодическое наблюдение за конкретным объектом — источником загрязнения и фиксирование количественных параметров

окружающей среды (ОС) в точке (зоне) первичного контакта среды с источником. Фактически мониторинг источника загрязнения вплотную смыкается с производственным (техническим) контролем технологических или других техногенных процессов, "открытых" во внешнюю среду, а также соответствующих объектов наблюдения (объектовый "точечный" контроль).

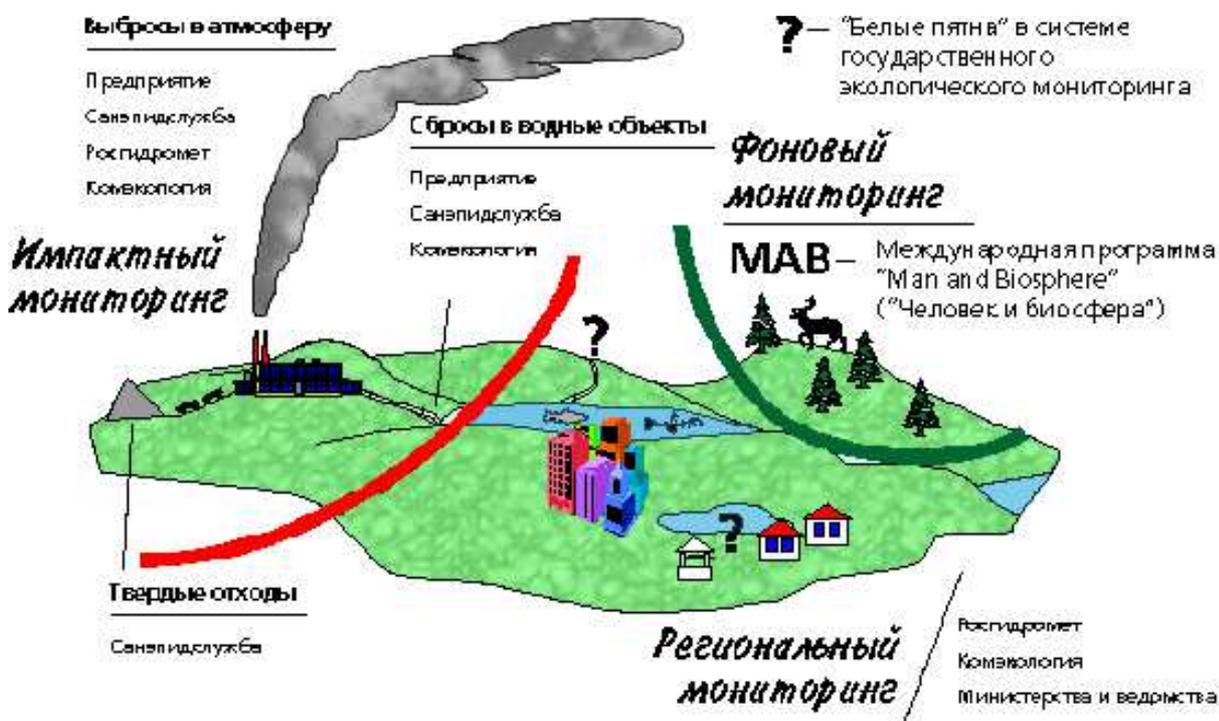


Рис. 52. Виды мониторинга окружающей среды и его объекты

Особое место занимает **фоновый мониторинг**, цель которого состоит в получении эталона состояния ОС и ее изменения в условиях возможного антропогенного воздействия. Данные фонового мониторинга необходимы для анализа результатов всех видов мониторинга. Сам фоновый мониторинг проводится в рамках глобального или национального мониторинга перед разработкой проекта или строительством крупного объекта.

**Разработка программы мониторинга.** Эффективность экологического мониторинга решающим образом зависит от правильной его организации. Общая последовательность разработки и осуществления схемы мониторинга представлена на рисунке 53.

Перед тем, как предпринимать какие-либо действия, следует формулировать **цели** и **конкретные задачи работы**. При этом необходимо, чтобы поставленные вами цели были конкретными, достижимыми и поддавались проверке, — это существенно для кон-

троля выполнения программы мониторинга и внесения в нее корректив.

**Основная цель всякой программы мониторинга — информационная.** Это получение новой информации, устранение той или иной неопределенности или, напротив, выявление недостатка информации. Поэтому естественным образом **цель программы общественного мониторинга** может быть направлена на:

1. Получение информации, связанной с конкретной проблемой;
2. Представление информации для различных типов аудитории (заинтересованной общественности, администрации и сотрудников предприятия, государственных органов) и ее распространение;
3. Принятие мер, непосредственно направленных на улучшение ситуации или стимулирование принятия соответствующих решений.

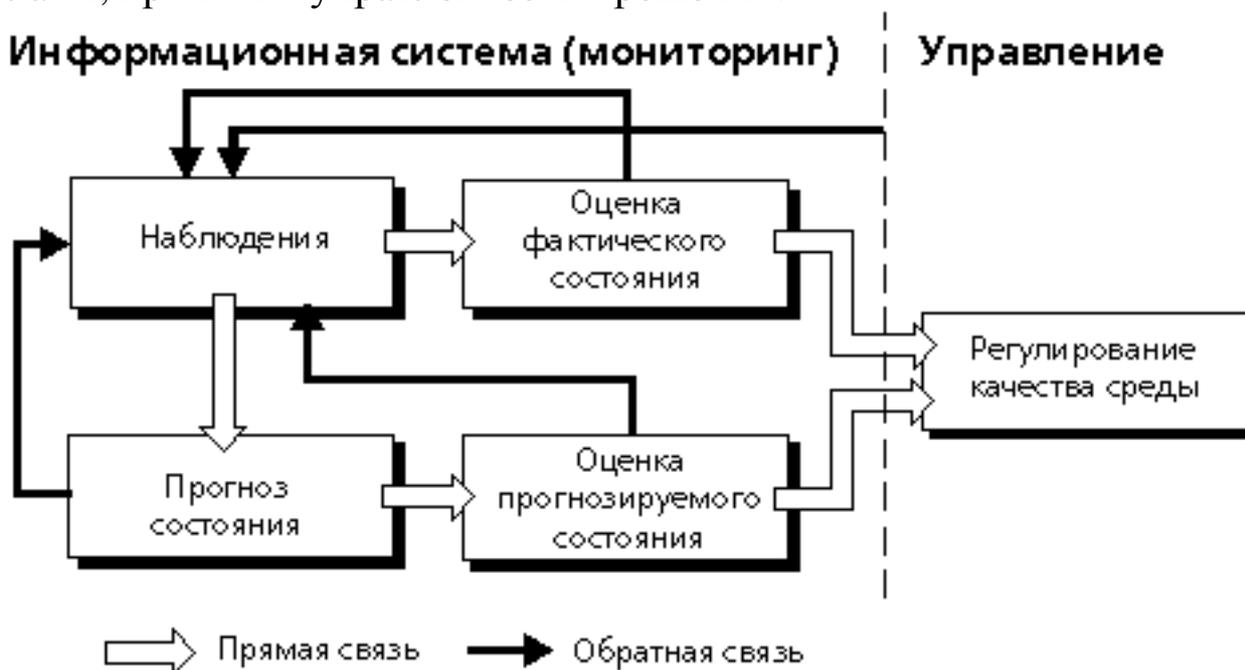


**Рис. 53. Задачи мониторинга с использованием технологии оперативного контроля (Автоматическая система диагностического экологического контроля «Регион»)**

Под **задачами** понимаются конкретные действия или этапы на пути достижения цели. В рамках грамотно составленной програм-

мы не может быть задач, выходящих за пределы цели, не имеющих к ней отношения и т.п. (рис. 54).

Поэтому на основе поставленной цели следует определить *приоритеты — объекты мониторинга и определяемые параметры*. Объекты могут быть как антропогенными, так и природными. Например, если цель программы связана с совершенствованием экологической результативности предприятия, то выбор объектов может осуществляться с учетом особенностей технологических процессов, сложившейся схемы работы с сырьем и материалами, принятых управленческих решений.



**Рис. 54. Блок-схема системы мониторинга**

Если же цель состоит в уточнении картины и причин загрязнения реки, то выбор объекта может выглядеть как определение предприятия или конкретного места выпуска сточных вод, на котором будут сконцентрированы усилия по мониторингу.

Если проблему представляет состояние окружающей среды в загрязненном городском районе, определение приоритетов может начаться с выбора природной среды для мониторинга — атмосферы, воды, почвы, снежного покрова. Выбор объекта в некоторых случаях однозначно вытекает из поставленной проблемы, а иногда представляет собой содержательную и нетривиальную задачу. Поэтому целесообразно для правильной формулировки программы привлекать квалифицированных специалистов.

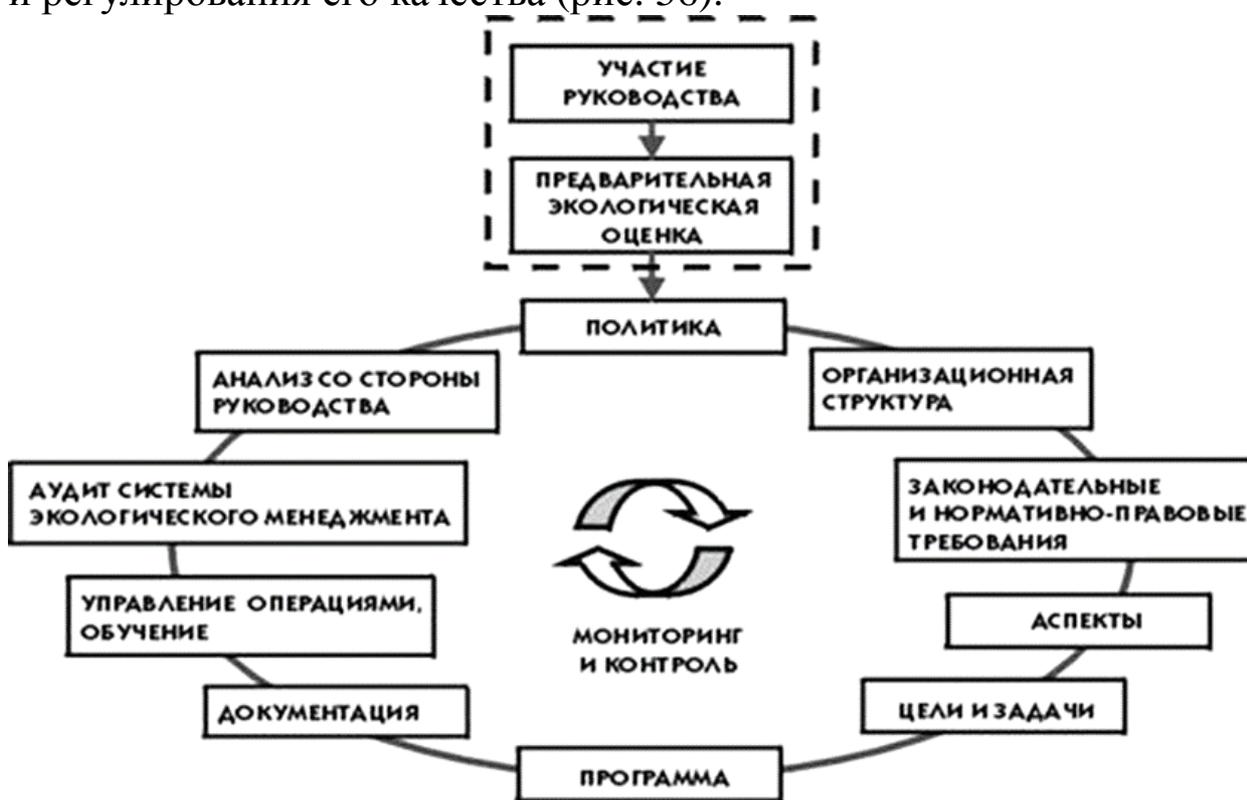
Сначала на основе поставленных целей выбирают объекты мониторинга, а затем определяемые параметры, они должны быть приоритетными. Однако возможен и обратный порядок, например, когда заранее известно, что проблема связана с определенным веществом (например, с ртутным загрязнением) (рис. 55).



**Рис. 55. Нормативы качества окружающей природной среды**

С целью повышения эффективности работ по сохранению среды обитания и обеспечения экологической безопасности в 1993 г. Правительством РФ было принято постановление «*О создании Единой государственной системы экологического мониторинга*» (ЕГСЭМ). Система была призвана решать ряд важных задач, объединенных в два взаимосвязанных блока: мониторинг загрязнения экосистем и мониторинг экологических последствий такого загрязнения. Эта система также должна обеспечить получение информации об исходном (базовом) состоянии биосферы, а также выявление антропогенно обусловленных изменений.

В единую государственную систему экологического мониторинга составной частью входит эколого-аналитический мониторинг – система наблюдений за источниками и уровнем загрязнений природных объектов вредными веществами в результате сбросов либо выбросов этих веществ в окружающую среду, а также вследствие естественного их образования и накопления в биосфере, в том числе за счет химической и биохимической трансформации веществ в соединения с вредными свойствами. В свою очередь эколого-аналитический контроль предполагает наличие элементов управления и мероприятий по снижению уровня загрязнений окружающей среды и регулирования его качества (рис. 56).



**Рис. 56. Специфика и порядок осуществления мониторинга и контроля окружающей среды**

*В настоящее время ЕГСЭМ решает следующие задачи:*

- разработка программ наблюдений за состоянием окружающей природной среды (ОПС) на территории России, в её отдельных регионах и районах;
- организация наблюдений и проведение измерений показателей объектов экологического мониторинга;

- обеспечение достоверности и сопоставимости данных наблюдений как в отдельных регионах и районах, так и по всей территории России;
- сбор и обработка данных наблюдений;
- организация хранения данных наблюдений, ведение специальных банков данных, характеризующих экологическую обстановку на территории России и в отдельных её районах;
- гармонизация банков и баз экологической информации с международными эколого-информационными системами;
- оценка и прогноз состояния объектов ОПС и антропогенных воздействий на них, природных ресурсов, откликов экосистем и здоровья населения на изменение состояния ОПС;
- организация и проведение оперативного контроля и прецизионных изменений радиоактивного и химического загрязнения в результате аварий и катастроф, а также прогнозирование экологической обстановки и оценка нанесённого ОПС ущерба;
- обеспечение доступности интегрированной экологической информации широкому кругу потребителей, включая население, общественные движения и организации;
- информационное обеспечение органов управления состоянием ОПС, природных ресурсов и экологической безопасностью;
- разработка и реализация единой научно технической политики в области экологического мониторинга;
- создание и совершенствование организованного, правового, нормативного, методологического, методического, информационного, программно-математического, аппаратурно-технического обеспечения функционирования ЕГСЭМ.

***ЕГСЭМ в свою очередь включает в себя следующие основные компоненты:***

- мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую среду;
- мониторинг загрязнения абиотического компонента окружающей природной среды;
- мониторинг биотического компонента окружающей природной среды;
- социально-гигиенический мониторинг;
- обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем.

• Эколого-аналитический мониторинг также осуществляется в пределах трех основных уровней:

- в зонах существенного техногенного воздействия;
- на региональном уровне;
- на фоновом уровне.

**Первый уровень** предполагает проведение контроля в промышленных районах, наибольших озерах и крупных водохранилищах, в устьях и отдельных участках рек, местах сброса сточных вод, сельскохозяйственных предприятий, районах нефтедобычи и т.п.

**Второй уровень** предполагает контроль загрязнений воды, воздуха и почвы в районах, примыкающих к промышленным зонам, в результате чего осуществляется мониторинг распространенных загрязнителей, таких как диоксиды серы и азота, нефтепродукты, радиоактивные осадки.

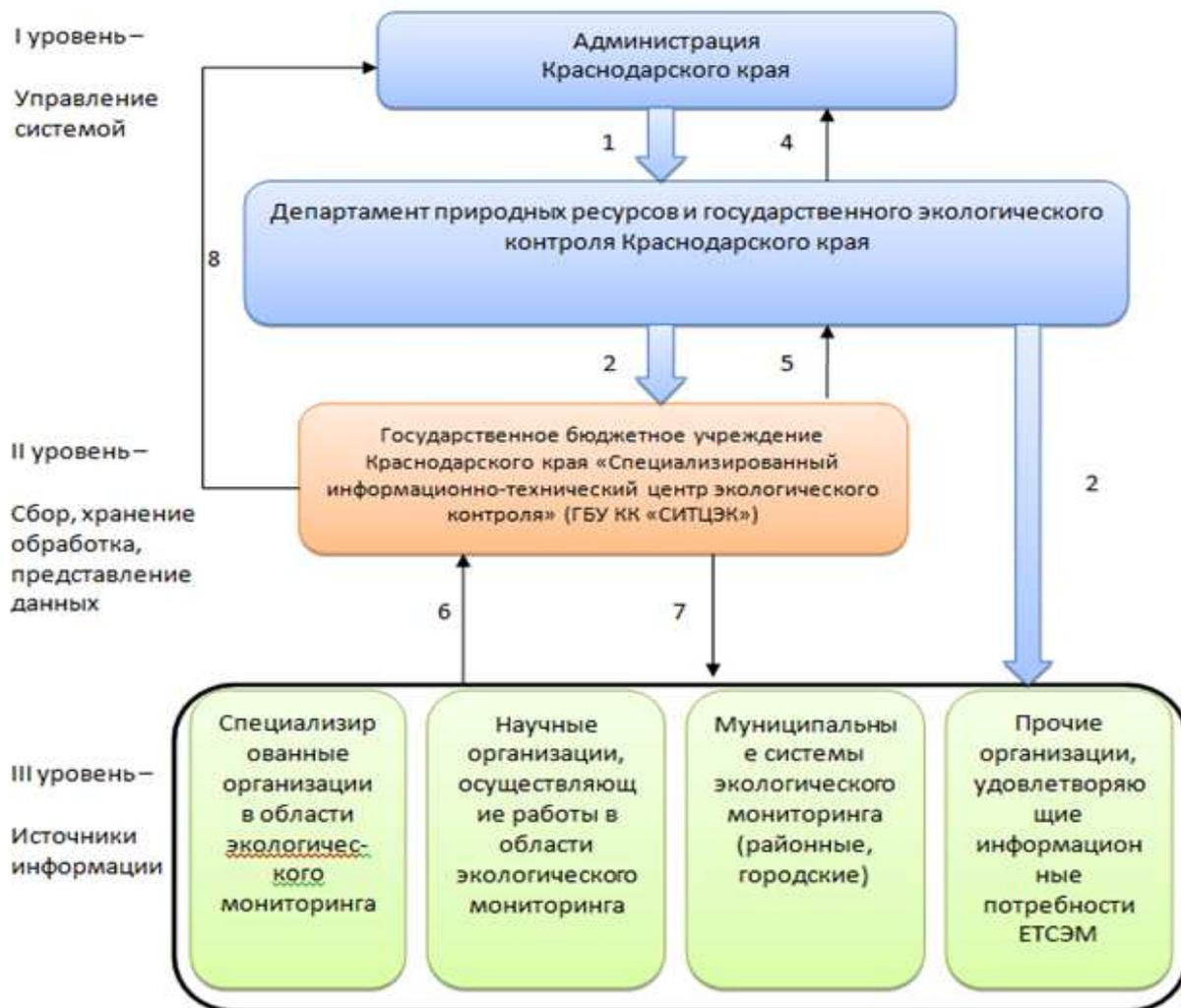
**Третий уровень** – фоновый уровень предполагает осуществление контроля в зонах, удаленных от локальных источников, например, в биосферных заповедниках и уникальных природных объектах (рис. 57).

**Осуществление экологического мониторинга в Российской Федерации входит в обязанности различных государственных служб. При этом распределение функций между центральными органами исполнительной федеральной власти осуществляются следующим образом:**

**Госкомэкологии** – координация деятельности министерств и ведомств, предприятий и организаций в области мониторинга ОПС; организация мониторинга источников антропогенного воздействия на окружающую среду и зон их прямого воздействия; организация мониторинга животного и растительного мира, мониторинг наземной фауны и флоры (кроме лесов); обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем; ведение с заинтересованными министерствами и ведомствами банков данных об окружающей природной среде, природных ресурсах и их использовании.

**Росгидромет** – организация мониторинга состояния атмосферы, поверхностных вод суши, морской среды, почв, околоземного космического пространства, в том числе комплексного фонового и космического мониторинга состояния окружающей природной среды; координация развития и функционирования ведомственных

подсистем фоновый мониторинг загрязнения ОПС; ведение государственного фонда данных о загрязнении окружающей природной среды.



**Рис. 57. Уровни управления природными ресурсами и государственного экологического контроля Краснодарского края**

**Роскомзем** – мониторинг земель.

**Министерство природных ресурсов** – мониторинг недр, включая мониторинг подземных вод и опасных геологических процессов; мониторинг водной среды водохозяйственных систем и сооружений в местах водосбора и сброса сточных вод. Роскомрыболовство: мониторинг рыб, других животных и растений.

**Рослесхоз** – мониторинг лесов.

**Роскартография** – осуществление топографо-геодезического и картографического обеспечения ЕГСЭМ, включая создание цифровых, электронных карт и геоинформационных систем.

**Ростехнадзор России** – координация развития и функционирования подсистем мониторинга геологической среды, связанных с использованием ресурсов недр на предприятиях добывающих отраслей промышленности; мониторинг обеспечения промышленной безопасности (за исключением объектов Минобороны России и Минатома России).

**Госкомэпиднадзор России** – мониторинг воздействия факторов среды обитания на состояние здоровья населения.

**Минобороны России** – мониторинг ОПС и источников воздействия на нее на военных объектах; обеспечение ЕГСЭМ средствами и системами военной техники двойного применения.

**Госкомсевер России** – участие в развитии и функционировании ЕГСЭМ в районах Арктики и Крайнего Севера.

**На региональном уровне экологический мониторинг и/или контроль обычно вменяется в обязанность:**

**Комитету по экологии** (наблюдения и контроль за выбросами и сбросами действующих предприятий).

**Комитету по гидрометеорологии и мониторингу** (импактный, региональный и отчасти фоновый мониторинг).

**Санитарно-эпидемиологической службе Минздрава** (состояние рабочих, селитебных и рекреационных зон, качество питьевой воды и продуктов питания).

**Министерству природных ресурсов** (прежде всего, геологические и гидрогеологические наблюдения).

**Предприятиям, осуществляющим выбросы и сбросы в окружающую среду** (наблюдение и контроль за собственными выбросами и сбросами).

**Различным ведомственным структурам** (подразделениям Минсельхозпрода, МинЧС, Минтопэнерго, предприятиям водно-канализационного хозяйства и проч.) Для того, чтобы эффективно использовать сведения, уже полученные государственными службами, важно точно знать функции каждого из них в области экологического мониторинга (рис. 58).

**Кроме государственного мониторинга выделяют производственный и общественный мониторинг.**

**Производственный мониторинг** – оценка деятельности предприятия с точки зрения безопасности для окружающей среды.

**Общественный экологический мониторинг** может выполнять такие функции, как:

- создание альтернативного информационного канала: повышение оперативности экологического контроля и эффективности оповещения населения о происшествиях и чрезвычайных ситуациях;
- наблюдение за объектами, которые либо не включены в программы мониторинга государственных природоохранных служб, либо описываются недостаточно полно;
- привлечение внимания к проблемам, которые ранее не были обозначены;
- развитие экологического образования и просвещения.



**Рис. 58. Виды экологического контроля в Российской Федерации**

Практическая ориентация мониторинга, концентрация усилий на местных проблемах в сочетании с продуманной схемой и корректной интерпретацией полученных данных позволяют

эффективно использовать имеющиеся у общественности ресурсы. Кроме того, эти особенности общественного мониторинга создают серьезные предпосылки для организации конструктивного диалога, направленного на консолидацию усилий всех участников.

### 3.3. Загрязнение окружающей среды

Мониторинг источника загрязнения (МИЗ) может являться составной частью подсистемы локального мониторинга окружающей среды, а может включать в себя только элементы объектового производственного контроля, практически полностью замкнутого на технологию, ее процессы и аппараты.

Организация мониторинга источников загрязнения на объектах осуществляется с целью получения оперативной и систематической информации о состоянии окружающей среды, прежде всего для обеспечения технологической и экологической безопасности самих контролируемых объектов, с приоритетом вопросов безопасности и комфортности условий труда, работающего на них персонала (рис. 59).

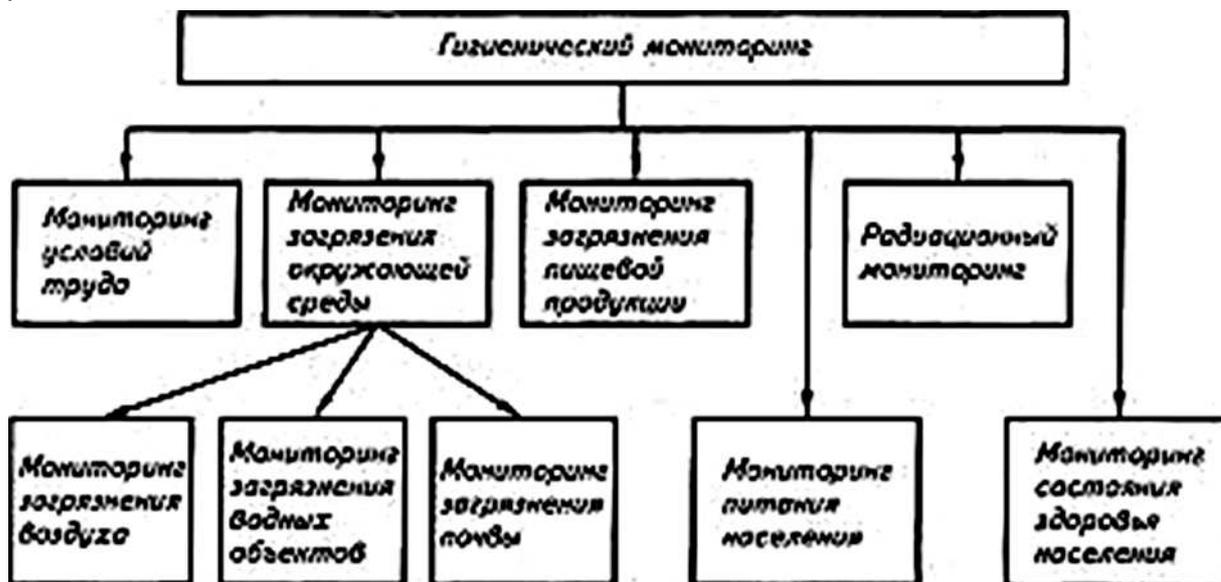


Рис. 59. Гигиенический мониторинг в Российской Федерации

В уголовном законодательстве РФ отражена концепция, рассматривающая природную среду не как "кладовую" природных богатств, которую надо охранять от разграбления, а как биологическую основу существования человека и всего живого на Земле. Она отражает и приоритет охраны интересов личности перед интересами общества и государства.

С этих позиций экологические преступления можно рассматривать и как преступления против человечества, здоровья, конституционного права на благоприятную природную сферу обитания посредством воздействия на окружающую природу. Изменяются также взгляды на степень общественной опасности данных посягательств, что нашло соответствующее отражение в санкциях, предусмотренных Уголовным кодексом РФ (УК РФ).

Таким образом, в уголовном законодательстве представлена целая область, полностью охватывающая очень важную в наши дни сферу — экологию. Многие преступления, ранее остававшиеся безнаказанными, теперь довольно жестко наказуемы. Это вселяет определенную надежду на то, что шквал преступлений против природы будет остановлен. Задача правоохранительных органов на современном этапе — широко и повсеместно внедрять новые нормы уголовного права в практику.

Все вышеизложенные вопросы далеко не исчерпывают пределов действия российского законодательства в области безопасности жизнедеятельности. Сфера его применения постоянно расширяется. Предмет правового регулирования охватывает все новые отношения в областях, где требуется обеспечение безопасности жизнедеятельности человека.

Под *загрязнением окружающей среды* понимают любое внесение в ту или иную экологическую систему не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии со снижением продуктивности или разрушением данной экосистемы (рис. 60).

*Загрязнитель* – любой физический агент, химическое вещество или биологический вид (вирус, микроорганизм), поступающий в окружающую среду или возникающий в ней в количестве, вызывающем загрязнение среды.

***Различают природные и антропогенные загрязнители.***

Загрязнение окружающей среды представляет собой глобальную проблему современности, которую регулярно обсуждают в новостях и научных кругах. Создано множество международных организаций, направленных на борьбу с ухудшением природных условий. Учёные давно бьют тревогу о неминуемости экологической катастрофы в самое ближайшее время.



**Рис. 60. Классификация природных и антропогенных загрязнителей окружающей среды**

На данный момент о загрязнении окружающей среды известно многое – написано большое количество научных работ и книг, проведены многочисленные исследования. Но в решении проблемы человечество продвинулось совсем незначительно. Загрязнение природы по-прежнему остаётся важным и актуальным вопросом, откладывание которого в долгий ящик может обернуться трагично.

**История загрязнения биосферы.** В связи с интенсивной индустриализацией общества загрязнение окружающей среды особенно обострилось в последние десятилетия. Однако, несмотря на этот факт, природное загрязнение является одной из самых древних проблем в истории человечества. Ещё в эпоху первобытного строя люди начали варварски уничтожать леса, истреблять животных и изменять ландшафт земли для расширения территории проживания и получения ценных ресурсов.

Уже тогда это приводило к изменению климата и другим **экологическим проблемам**. Рост народонаселения планеты и прогресс цивилизаций сопровождался усиленной добычей полезных ископаемых, осушением водоёмов, а также химическим загрязнением биосферы. Промышленная революция ознаменовала не только новую эру в общественном укладе, но и новую волну загрязнения.

С развитием науки и техники учёные получили инструменты, с помощью которых стал возможным точный и подробный анализ экологического состояния планеты. Метеосводки, контроль химического состава воздуха, воды и почвы, спутниковые данные, а также повсеместно дымящие трубы и нефтяные пятна на воде говорят о том, что проблема стремительно усугубляется с расширением техносферы. Недаром появление человека называют главной экологической катастрофой.

**Классификация загрязнений природы.** Существует несколько классификаций загрязнений природы, основанных на их источнике, направленности, других факторах. **Выделяют следующие виды загрязнения окружающей среды:**

- Биологическое – источником загрязнения являются живые организмы, оно может происходить по естественным причинам или в результате антропогенной деятельности.

- Физическое – приводит к изменению соответствующих характеристик окружающей среды. К физическому загрязнению относят тепловое, радиационное, шумовое и другие.

- Химическое – увеличение содержания веществ или их проникновение в окружающую среду. Приводит к изменению нормального химического состава ресурсов.

- Механическое – загрязнение биосферы мусором.

**В действительности один вид загрязнения может сопровождаться другим или несколькими сразу.**

**Загрязнение атмосферы.** Газообразная оболочка планеты является неотъемлемым участником природных процессов, определяет тепловой фон и климат Земли, защищает от губительной космической радиации, влияет на рельефообразование.

Состав атмосферы менялся в течение всего исторического развития планеты. Сложившаяся сегодня ситуация такова, что часть объёма газовой оболочки определяется хозяйственной активностью человека. Состав воздуха неоднороден и отличается в зависимости от географического положения – в промышленных районах и крупных городах высокий уровень вредных примесей. **Основные источники химического загрязнения атмосферы:**

- химические заводы;
- предприятия топливно-энергетического комплекса;
- транспорт.

Эти загрязнители являются причиной содержания в атмосфере тяжёлых металлов, таких как свинец, ртуть, хром, медь. Они – постоянные компоненты воздуха в промышленных зонах.

Современные электростанции ежедневно выбрасывают в атмосферу сотни тонн углекислого газа, а также сажу, пыль и золу.

Увеличение числа автомобилей в населённых пунктах привело к повышению концентрации целого ряда вредных газов в воздухе, которые входят в состав машинного выхлопа. Из-за антидетонационных присадок, добавляемых к транспортному топливу, происходит выброс больших количеств свинца. Автомобили вырабатывают пыль и золу, которые загрязняют не только воздух, но и почву, оседая на земле.

Атмосферу также загрязняют очень токсичные газы, которые выбрасываются предприятиями химической промышленности. Отходы химзаводов, например, оксиды азота и серы, являются причиной *кислотных дождей* и способны вступать в реакции с компонентами биосферы с образованием других опасных производных (рис. 61).



**Рис. 61. Необходимо срочно прекратить выбросы с предприятий химической и другой промышленности**

В результате человеческой деятельности регулярно происходят лесные пожары, во время которых происходит выброс колоссальных количеств диоксида углерода.

**Загрязнение почвы.** Почва – это тонкий слой литосферы, образовавшийся в результате природных факторов, в котором протекает большая часть процессов обмена между живыми и неживыми системами.

Из-за добычи природных ископаемых, горнопромышленных работ, сооружения зданий, дорог и аэродромов уничтожаются масштабные площади почв.

Нерациональная хозяйственная деятельность человека стала причиной деградации плодородного слоя земли. Изменяется его естественный химический состав, происходит механическое загрязнение. Интенсивное развитие сельского хозяйства приводит к существенным потерям земель. Частое вспахивание делает их уязвимыми перед затоплениями, засолениями и ветрами, что является причиной эрозии почвы.

Обильное применение удобрений, инсектицидов и химических ядов для уничтожения вредителей, и очищения от сорняков приводит к попаданию в почву неестественных для неё токсичных соединений. В результате антропогенной деятельности происходит химическое загрязнение земель тяжёлыми металлами и их производными. Основным вредным элементом является свинец, а также его соединения. При переработке свинцовых руд выбрасывается около 30 килограммов металла с каждой тонны. Автомобильный выхлоп, содержащий большое количество данного металла, оседает в почве, отравляя обитающие в ней организмы. Сливы жидких отходов с рудников заражают землю цинком, медью и другими металлами.

Электростанции, радиоактивные осадки от ядерных взрывов, научно-исследовательские центры по изучению атомной энергии являются причиной попадания в почву радиоактивных изотопов, которые потом поступают в организм человека с продуктами питания.

Сконцентрированные в недрах земли запасы металлов рассеиваются, как следствие производственной активности человека. Потом они концентрируются в верхнем слое почвы. В древности человек использовал 18 элементов, из находящихся в земной коре, а сегодня – все известные.

**Загрязнение воды.** На сегодняшний день водная оболочка земли загрязнена намного больше, чем можно представить. Нефтяные пятна и плавающие на поверхности бутылки – это лишь то, что можно увидеть. Значительная часть загрязнителей находится в растворённом состоянии.

Порча воды может происходить естественным образом. В результате селей и паводков из материковой почвы вымывается магний, который попадает в водоёмы и наносит вред рыбам. В результате химических превращений в пресные воды проникает алюминий. Но естественное загрязнение составляет пренебрежимо малую долю по сравнению с антропогенным. **По вине человека в воду попадают:**

- поверхностно-активные соединения;
- пестициды;
- фосфаты, нитраты и другие соли;
- лекарства;
- нефтепродукты;
- радиоактивные изотопы.

Источниками этих загрязнителей являются фермерские хозяйства, рыбный промысел, нефтяные платформы, электростанции, предприятия химической промышленности, канализационные стоки.

Кислотные дожди, которые также являются результатом человеческой деятельности, растворяя грунт, вымывают тяжёлые металлы.

Помимо **химического загрязнения воды** существует физическое, а именно – тепловое. Больше всего воды применяется в производстве электроэнергии. Тепловые станции используют её для охлаждения турбин, а отработанная нагретая жидкость сливается в водоёмы.

Механическое ухудшение качества воды бытовыми отходами в населённых пунктах приводит к сокращению мест обитания живых существ. Некоторые виды гибнут.

Загрязнённая вода – основная причина большинства заболеваний. В результате отравления жидкости погибает множество живых существ, страдает экосистема океана, нарушается нормальное протекание природных процессов. Загрязнители в конечном счёте попадают в организм человека.

По специфике методов измерения и оценке информации выделяют мониторинг биологический, геохимический, геофизический и другие. По специфике объектов наблюдения и защиты выделяют мониторинг атмосферы, почв, поверхностных вод (гидрологический), подземных вод (гидрогеологический), растительных ресурсов (геоботанический), лесов, животного мира, антропогенной, транспортной, рекреационной нагрузки, медико-демографический и др. (рис. 62).



Рис. 62. Схема форм загрязнений

Системы мониторинга также классифицируют по методам наблюдения (физико-химическим, биологическим, географическим и др.). Особо следует отметить дистанционный мониторинг. Экологический мониторинг необходим для принятия как оперативных и чрезвычайных, так и профилактических мер для защиты окружающей среды.

**При разработке проекта экологического мониторинга необходима следующая информация:**

- источники поступления загрязняющих веществ в окружающую природную среду – выбросы загрязняющих веществ в атмосферу промышленными, энергетическими, транспортными и другими объектами, приводящие к выбросу в атмосферу опасных веществ и разливу жидких загрязняющих и опасных веществ и т.д.;

- переносы загрязняющих веществ – процессы атмосферного переноса; процессы переноса и миграции в водной среде;
- процессы ландшафтно-геохимического перераспределения загрязняющих веществ – миграция загрязняющих веществ по почвенному профилю до уровня грунтовых вод; миграция загрязняющих веществ по ландшафтно-геохимическому сопряжению с учётом геохимических барьеров и биохимических круговоротов; биохимический круговорот и т. д.;
- данные о состоянии антропогенных источников загрязнения - мощность источника загрязнения и месторасположение его, гидродинамические условия поступления загрязнения в окружающую среду.

***Комплексный экологический мониторинг – это сложная система, предусматривающая:***

- выделение объекта наблюдения и рациональное размещение пунктов наблюдения на контролируемой территории;
- обеспечение наблюдений техническими средствами измерений, транспорта, связи для проведения обследования;
- оценку состояния объекта, прогнозирование его изменений;
- обеспечение периодического сбора, обработки, хранения и выдачи потребителям необходимой информации.

Классы загрязняющих веществ разделены по принципу приоритетности и для них определены соответствующие уровни мониторинга. ***Система мониторинга преследует различные цели:***

- определение уровней загрязнителей в различных средах, их распределение в пространстве и во времени;
- определение величин и скоростей распространения потоков загрязняющих веществ, возможных путей их трансформации;
- решение проблемы сопоставимости результатов анализов, проводимых разными лабораториями;
- обеспечение заинтересованных пользователей информацией, необходимой для принятия решений по устранению загрязнений на различных административных уровнях.

***В соответствии с приведенными определениями и возложенными на систему функциями, мониторинг включает три основных направления деятельности:***

- наблюдения за факторами воздействия и состоянием среды;
- оценку фактического состояния среды;

- прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния.

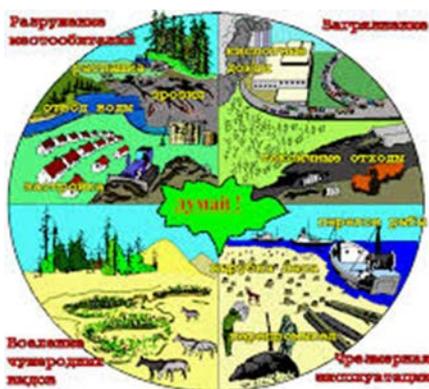
Следует принять во внимание, что сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством среды, но является источником необходимой для принятия экологически значимых решений информации. Экологические мониторинги окружающей среды могут разрабатываться на уровне промышленного объекта, города, области, края, республики в составе федерации. Основой мониторинга в отдельных странах являются системы национального мониторинга, включающие обязательное наблюдение и передачу информации в центр по объектам, имеющим глобальную значимость. Предпочтение в системах государственного мониторинга отдается городам, источникам питьевой воды и местам нерестилищ рыб. В отношении сред наблюдений важное внимание уделяется атмосферному воздуху и состоянию пресноводных водоемов; приоритетность ингредиентов определяется с учетом специфики загрязнения сред в конкретных условиях.

**Борьба с загрязнением.** Во избежание экологической катастрофы борьба с физическим загрязнением должна быть первостепенной задачей. Проблема должна решаться на международном уровне, потому что у природы нет государственных границ. Для предупреждения загрязнения необходимо вводить санкции предприятиям, выбрасывающим отходы в окружающую среду, налагать крупные штрафы за размещение мусора в неполюженном месте. Стимуляция к соблюдению норм экологической безопасности также может быть осуществлена финансовыми методами. Такой подход доказал свою эффективность в некоторых странах.

Перспективным направлением по борьбе с загрязнением является применение альтернативных источников энергии. Использование солнечных батарей, водородного топлива и других сберегающих технологий позволит уменьшить выброс токсичных соединений в атмосферу. **К другим методам борьбы с загрязнением можно отнести:**

- строительство очистных сооружений;
- создание национальных парков и заповедников;
- увеличение количества зелёных насаждений;
- контроль численности населения в странах третьего мира;
- привлечение внимания общественности к проблеме.

*Загрязнение окружающей среды представляет собой масштабную мировую проблему, решить которую возможно лишь при активном участии каждого, кто называет планету Земля своим домом, иначе экологическая катастрофа будет неминуема.*



## 4. ВИДЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

### 4.1. Мониторинг состояния экосистем подверженных опустыниванию

Опустынивание является динамичным процессом во времени и территориально. Для контроля, прогнозирования и своевременного предупреждения необходима постоянная система наблюдений – мониторинг. В сельском хозяйстве для экологического контроля и мониторинга важное значение имеют технологии дистанционного зондирования земли (ДЗЗ).

Необходимо отметить, что каждый год из-за данной проблемы на Земле пропадает приблизительно 12 млн гектаров плодородной земли. И, к сожалению, учёные со всего мира констатируют постоянное прогрессирование данной тенденции. С помощью многочисленных исследований давно доказано, что количество плодородных земель уменьшается с годом от года. Около  $\frac{1}{4}$  плодородных земель вышло из строя на протяжении последнего века. Впервые человечество столкнулось с проблемой опустынивания в начале семидесятых годов. Причиной стала очень сильная засуха в африканской природной зоне Сахель. Эта засуха привела к катастрофическому голоду в данном регионе. ***На сегодняшний день существует две основные причины опустынивания:***

- природный фактор (влияние ветровой эрозии, засоление грунтов, колебание естественного количества осадков);
- деятельность людей.

***Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию, имеет три взаимосвязанных направления:***

- социально-экономический;
- санитарно-гигиенический;
- экологический.

В этом есть отражение многогранной значимости явления, разнообразия принципов и методов контроля экологического состояния подобных экосистем, и оно свидетельствует о принципиальном различии получаемой при мониторинге информации. Требование комплексности — основное при проведении каждого вида мониторинга.

Понимание динамики природных систем при опустынивании невозможно без контроля всех факторов, условий и результатов опустынивания. Воздействие на какой-либо из компонентов этой сложной динамической системы с разветвленной структурой взаимных связей может приводить к изменению всей системы в целом.

Почва — основной регулятор энерго-, и массопереноса в аридных системах, и организация почвенно-экологического мониторинга при опустынивании требует систематических наблюдений не только за процессами, ведущими к деградации собственно почв, но и за теми почвенными свойствами, процессами и режимами, которые регулируют состояние других компонентов ландшафта и могут свидетельствовать о его деградации. **Необходима организация мониторинга всех показателей опустынивания:**

- климатической;
- почвенной;
- растительной;
- гидрологической;
- геоморфологической.

Этому требованию отвечает выбор индикаторов опустынивания.

**Индикаторы опустынивания.** Выделяют три группы индикаторов, из которых важнейшим являются почвенные. Система индикаторов опустынивания предложена в 1978 году, в дальнейшем она была положена в основу международных схем индикации и мониторинга опустынивания.

Индикаторами опустынивания служат наиболее информативные количественные и качественные показатели состояния природной среды, определение которых возможно провести доступными методами и может быть воспроизведено, а результаты могут быть контролируемыми. **В этой схеме выделяют три группы индикаторов опустынивания:**

- физические (почвенно-геохимические и гидрологические);
- биологические
- социальные.

**Физические индикаторы опустынивания (почвенно-геохимические и гидрологические):**

- количество пыльных и песчаных бурь и других неблагоприятных климатических процессов;
- изменение дебита, глубины залегания и качества грунтовых вод;

- степень и формы развития процессов эрозии и дефляции;
- изменение стока паводковых вод и объема твердого стока;
- изменение мощности почвы в корнеобитаемом слое и содержание в ней гумуса;
- степень засоления и осолонцевания почвы;
- образование различного рода корковых и панцирных покровов почв.

***Биологические индикаторы опустынивания:***

*Растительность:*

- соотношение климаксных и внедрившихся растительных видов;
- соотношение ксерофильных и мезофильных видов;
- степень проективного покрытия растениями поверхности почвы — густота растительного покрова;
- биологическая продуктивность и урожай кормов.

*Животные:*

- основные виды;
- поголовье домашнего скота;
- численность животных;
- структура популяций;
- особенности размножения;
- вторичная продукция.

*Социальные индикаторы опустынивания:*

- системы землепользования (поливное земледелие, богарное земледелие, скотоводство, заготовка и вывоз сырья, туризм и т. д.);
- структура расселения;
- биологические параметры населения;
- параметры социальных процессов.

При мониторинге опустынивания часто пользуются такими понятиями, как характер, скорость (темпы), степень и глубина опустынивания. Термин «характер опустынивания» применяют для указания на ведущие причины опустынивания и вызываемые ими процессы опустынивания, что является основой для выделения типов опустынивания.

Под степенью опустынивания подразумевают степень приближенности условий меняющейся природной среды к пустынным условиям.

Термин «глубина опустынивания» отображает соотношение обратимых и необратимых изменений природной среды в результате опустынивания.

Термином «скорость (темпы) опустынивания» обозначают изменение во времени различных индикаторов опустынивания.

При мониторинге опустынивания по предложенным индикаторам необходимо учитывать, что ни один из параметров, взятых в отдельности, не является специфическим, хотя и может сопровождать его в разных конкретных ситуациях и сочетаниях. Например, снижение биологической продуктивности, если оно сопряжено не с аридизацией суши, а является следствием временных засух, не может рассматриваться в качестве диагностического индикатора опустынивания.

Необходим комплексный подход в использовании предложенных индикаторов. Точно так же нет оснований ставить диагноз об опустынивании и на орошаемых почвах, даже если при этом идет деградация за счет засоления, осолонцевания и т.д.

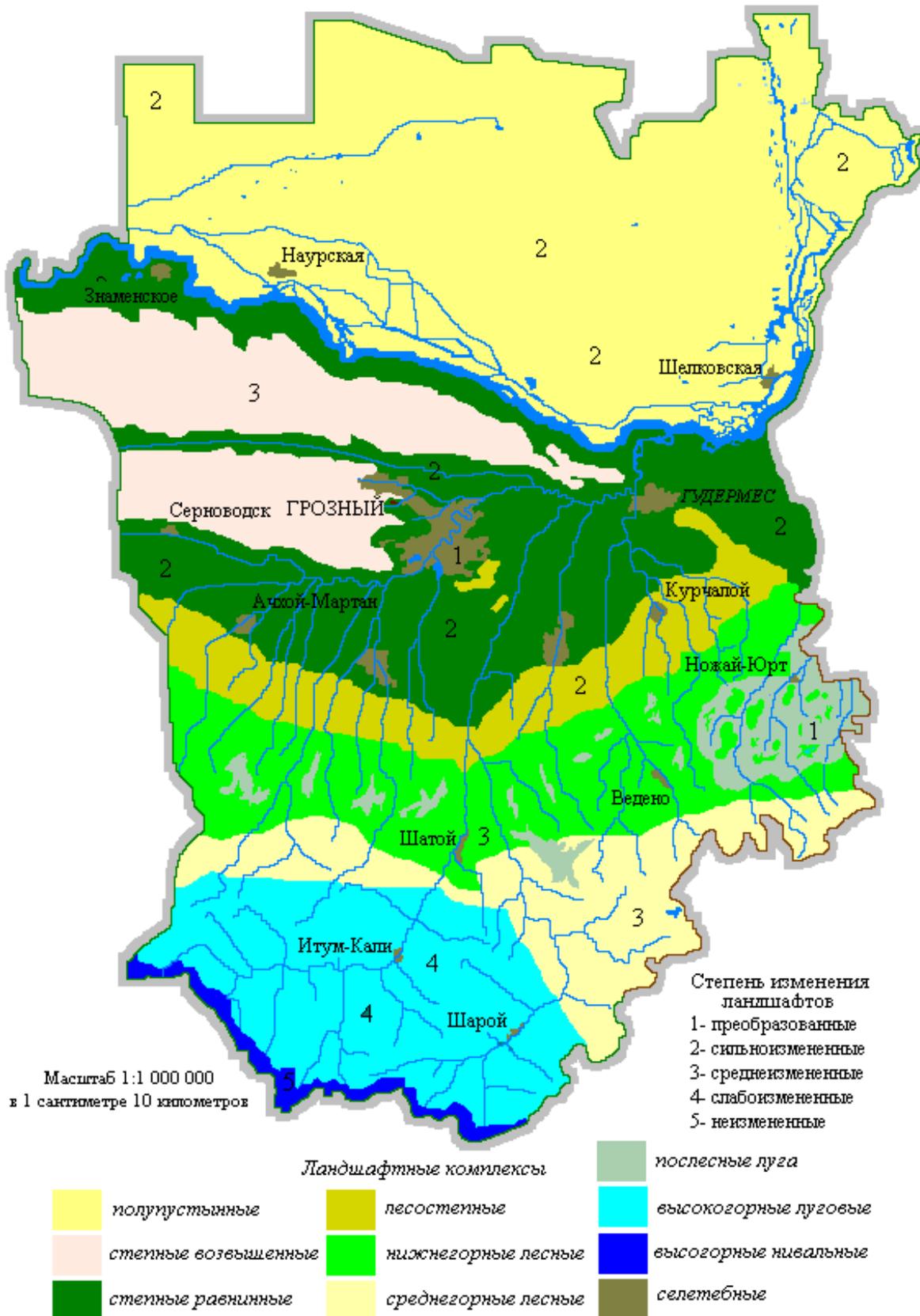
Опустынивание этих земель может произойти лишь после забрасывания или исключения их из орошаемого земледелия. Однако эти процессы могут стать причиной опустынивания в будущем и должны рассматриваться при мониторинге в связи с оценкой риска или потенциальной возможности опустынивания.

Подходы к количественному или качественному определению индикаторов, которые могут использоваться при мониторинге опустынивания, весьма разнообразны. Общая направленность этих подходов — взаимно увязать разнокачественные параметры, используемые при мониторинге опустынивания, таким образом, чтобы они давали возможность выяснить тенденции развития конкретного ландшафта. При этом различные параметры группируются в таблицы, служащие для оценки таких сторон опустынивания, как характер, степень, глубина, скорость, характеристики потенциальной опасности этого явления.

Сходные таблицы для оценки современного состояния, темпов и вероятной опасности опустынивания разработаны по параметрам водной и ветровой эрозии, водного режима почв, по растительным индикаторам.

Информационная база почвенно-экологического мониторинга опустынивания должна включать не только параметры, оценивающие состояние почв в процессе опустынивания, но и те почвенные

параметры, которые позволяют контролировать риск и устойчивость почв и экосистем к опустыниванию (рис. 63).



**Рис. 63. Картограмма антропогенной нарушенности ландшафтов Чеченской Республики**

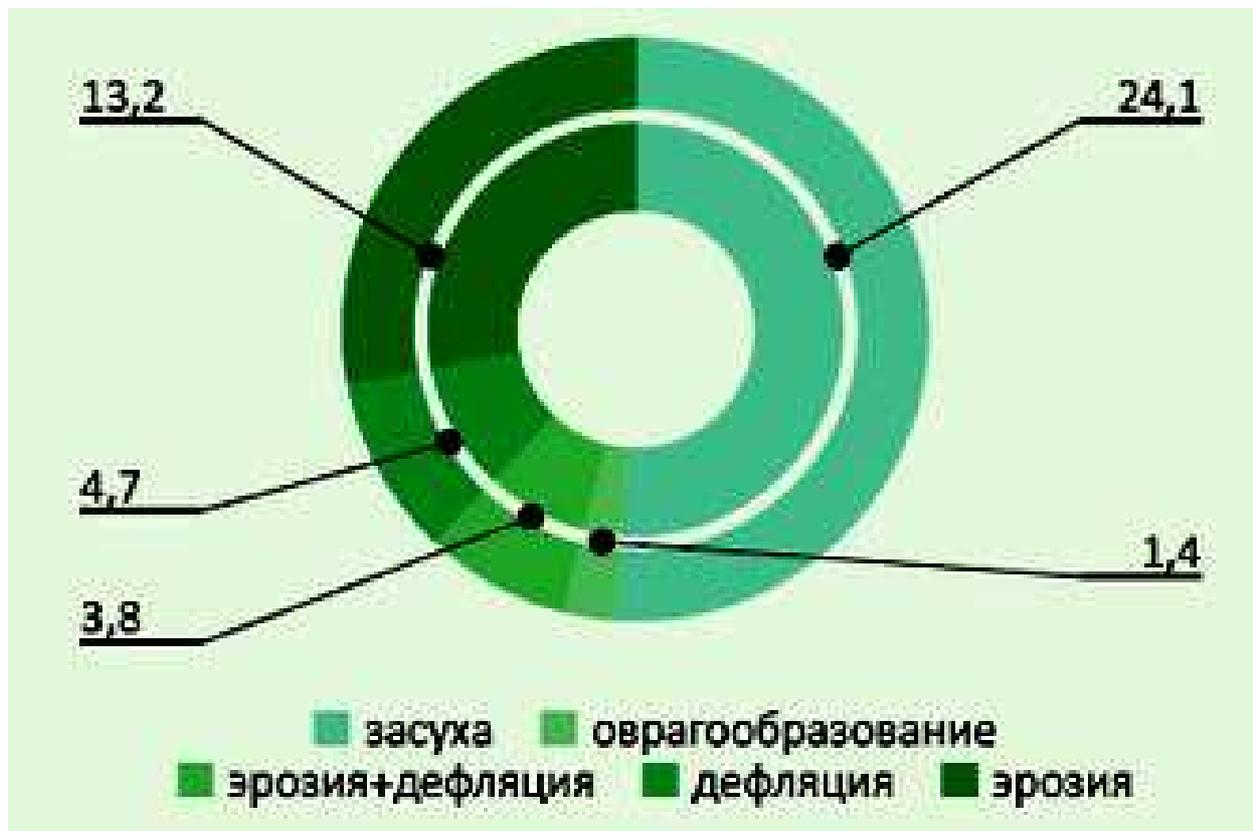
Так, на основе анализа картосхем устойчивости ландшафтов Чеченской Республики к воздействиям хозяйственной деятельности на их природные компоненты можно сделать следующие выводы: - почвы аридных и горных геосистем имеют очень низкую степень устойчивости к антропогенным воздействиям; - средние показатели устойчивости характерны для почв горно-лесных ландшафтных комплексов; - значительная часть промышленного потенциала Чеченской Республики расположена в степной зоне, существующие в степных ландшафтах природные условия (высокая скорость ветра, низкая повторяемость штилей) способствуют быстрому рассеиванию загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, высокой устойчивостью к антропогенному воздействию обладает и почвенный покров, низкую устойчивость в степной зоне имеют поверхностные воды, где они имеют наибольшее антропогенное воздействие.

Ландшафтно-экологическая диагностика геосистем позволил провести районирование ландшафтов республики по степени антропогенной нарушенности. Высокогорные ландшафты в основном испытывают пастбищное воздействие, в пределах субальпийского и альпийского пояса. Значения нарушенности пастбищных угодий ландшафтов в пределах величин 0,4-0,6. В альпийском поясе коэффициент нарушенности меняется от 0,2 до 0,4. Такие же показатели нарушенности характеризуют леса горных на Боковом хребте и его отрогов. Практически нетронутыми хозяйственной деятельностью отличаются ландшафты нивального пояса. На севере республики незначительно изменены луга в пойме Терека, и используются в основном как сенокосы. Наибольшего разрушения подверглись земли под пастбищами и пашнями. В пределах населенных пунктов коэффициент нарушенности достигает 4-5.

Опасность опустынивания определяется в первую очередь общей засушливостью или аридностью климата территории. Устойчивость экосистем к опустыниванию связана с комплексом исходных условий опустынивания. Скорость и степень воздействия опустынивания на экосистемы засушливых территорий определяется балансом существующей на данный момент времени опасности и устойчивости к опустыниванию.

В общем виде можно констатировать, что если суммарное воздействие действующих факторов и агентов опустынивания превышает устойчивость ландшафта, то наступает опустынивание, ско-

рость и степень которого зависят от величины этого превышения. Итак, для мониторинга ландшафтов, подверженных опустыниванию, необходима организация систематических наблюдений за всеми компонентами ландшафта (рис. 64).



**Рис. 64. Ежегодный недобор сельхозпродукции от воздействия природно-антропогенных факторов, млн тонн в зерновом эквиваленте (по данным Департамента мелиорации Минсельхоза России) [17]**

Детальные результаты могут быть получены при углубленных исследованиях, отдельных составляющих опустынивания (климатической, почвенной, биологической, гидрологической, геоморфологической) и их совместном использовании. *По результатам мониторинга опустынивания, по данным дистанционного зондирования составлена карта опустынивания Российской Федерации в масштабе 1:2500 00. На карте отражено, что на территории РФ наиболее распространены следующие антропогенные причины опустынивания:*

- подъем уровня грунтовых вод в следствие:
  - а) строительства водохозяйственных сооружений,

- б) длительного орошения земель;
- орошение минерализованными водами;
- геохимическая миграция солей к периферии орошаемых массивов; снижение геохимической отточности территории в результате заиливания русел;
- иссушение поверхности, вызванное:
  - а) опусканием уровня грунтовых вод в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем,
  - б) пастбищной дигрессией;
- пастбищная дигрессия на почвах
  - а) легкого,
  - б) тяжелого гранулометрического состава (при повышенном гидроморфизме);
- распашка почв:
  - а) легкого гранулометрического состава,
  - б) тяжелого гранулометрического состава (при повышенном гидроморфизме);
- распашка солонцов и засоленных почв;
- применение тяжелой техники на пахотных землях;
- транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог;
- степные пожары;
- сведение лесов;
- техно-, и урбогенные нарушения почвенного и растительного покрова.

***Выявлены ведущие процессы опустынивания и отражены на карте опустынивания РФ:***

- водная эрозия;
- формирование незакрепленных и развеваемых поверхностей;
- засоление;
- осолонцевание почв;
- уплотнение почв;
- подтопление;
- снижение продуктивности естественной растительности.

Особенно остро эта проблема опустынивания коснулась России в Республике Калмыкия. Основными признаками опустынивания стали увеличение площади подвижных песков, снижение продуктивности пастбищ, истощение местных источников водоснабжения. В период максимального опустынивания (в 1985г.) территория эко-

логического бедствия в наиболее подверженной территории Черные земли занимала площадь 3760 км<sup>2</sup>, окружающая ее территория - 8130 км<sup>2</sup>. В настоящее время площади эти уменьшились – соответственно до 2780 км<sup>2</sup> и 6900 км<sup>2</sup>, что свидетельствует о стабилизации за последнее десятилетие процессов экологической деградации. Однако и сегодня большая часть территории Черных земель остается разрушенной. Более 1 млн. га некогда высокопродуктивных пастбищ превратились в пространство открытых песков, с территории которых практически выведено почти все поголовье сельскохозяйственных животных, а регион Черных земель сегодня известен миру как единственная европейская пустыня. ЮНЕСКО приняла решение о включении региона Черных земель в мировую сеть биосферных заповедников.

Экстенсивное использование территории Калмыкии на протяжении полутора веков сопровождалось нарушением экологического равновесия как в компонентном, так и в территориальном аспектах, что привело к серьезным экологическим и экономическим просчетам, негативно отразилось на важнейших природных свойствах земельных ресурсов, и прежде всего - на их продуктивности.

Географическое положение территории обуславливает изначально низкое потенциальное плодородие почв. Так, в составе сельхозугодий 48,9 % засоленных земель, причем в полупустынной зоне доля их возрастает до 57,3%. Сверх того, почвы испытывают значительную антропогенную нагрузку, причем земли используются нерационально. В результате, площадь сельхозугодий, подверженных эрозии, с 1975 по 1996 год выросла с 28,2 % до 41 %. Выявлено снижение гумуса в почвах пашни до 48% от исходного содержания. В связи с ухудшением мелиоративного состояния орошаемых земель, их площади в последние годы сокращаются. 62,5 % орошаемых земель находится в неудовлетворительном состоянии.

#### **4.2. Оценка деградации почв пастбищ**

Сельскохозяйственное освоение территорий включает земледельческое и скотоводческое направления. И то и другое имеют арсенал специфических приемов ведения хозяйства в горах. В земледелии — это проведение агротехнических противоэрозионных мероприятий, подбор культур с коротким периодом созревания. В скотоводстве — отгонная его форма с периодизацией выпаса на зимних и летних пастбищах. При этом в качестве летних пастбищ

используются альпийские и субальпийские луга, где невозможно земледелие.

В большинстве горных районов, особенно в высокогорье, преобладает скотоводческое (пастбищное) направление. Поэтому контроль состояния горных экосистем, находящихся под пастбищной нагрузкой, и их почвенного покрова — ведущего фактора их устойчивости — обязательный элемент контроля состояния природной среды в горных условиях.

Наличие дернины у почв и пастбищ и ее состояние — легко определяемый морфологический признак почв, поэтому его удобно использовать при оценке состояния почвенного покрова пастбищ. Так, *для почвенного покрова пастбищ Центрального Кавказа предложены следующие простые критерии, группирующие почвы по стадиям дигрессии:*

1. Дернина в нормальном состоянии, нет механических повреждений, нет проявления эрозии.

2. Механические повреждения дернины, гумусовый горизонт местами оголен.

3. Остатки дернины занимают значительные площади, лишенная дернины часть почвы существенно эродирована.

Эти морфологические свойства почвы коррелируют с другими свойствами почвы, в частности от первой к третьей группе облегчается гранулометрический состав, изменяется плотность почв, содержание гумуса уменьшается от 12 до 4 %.

Физическая деградация почв устанавливается по изменению комплекса их свойств, вполне применимых и для горных пастбищ. Дополнительный, легко контролируемый морфологический признак для горных пастбищ — наличие и густота сети скотобойных троп, так называемая «тропинчатость». Скотобойные тропы способствуют формированию поверхностного стока и развитию водной эрозии. Кроме того, они резко снижают продуктивность пастбищ, исключая значительную часть почвенного покрова из сферы формирования биологической продукции.

Зотов и др. предлагают в качестве диагностического признака состояния пастбищ использовать долю площади тропиной сети в общей площади пастбища.

В целом набор показателей почвенно-экологического мониторинга горных пастбищ следующий:

- видовой состав, запасы и структура фитомассы;

- проективное покрытие;
- наличие подстилки (степного войлока) и ее мощность;
- задернованность поверхности почвы;
- плотность почвы;
- структурное состояние почвы (содержание агрономически ценных агрегатов и их водопрочность);
- содержание, запасы и состав гумуса;
- содержание элементов питания (N, P, K);
- мощность гумусового горизонта;
- наличие линейных эрозионных форм и их размеры.

Контроль этих показателей следует проводить 1 раз в 3 — 5 лет, иногда чаще. При отсутствии организационных структур почвенно-экологического мониторинга в горах определение его показателей можно проводить при агрохимическом обследовании территории. Состав гумуса следует контролировать реже — 1 раз в 5-10 лет, также согласуй сроки с периодичностью агрохимического обследования.

Географические условия, в которых находится Калмыкия, оказывают большое влияние на направление хозяйственной деятельности. Обширные степные пространства и пастбища благоприятствуют животноводству. Когда царское правительство во второй половине 18 столетия впервые вознамерилось собрать подробные сведения об «иногородцах», населяющих российскую землю, комендант города Царицына сообщал: «Ниже города Царицына, переходя с места на место, имеют кочевья иноверцы, называемые калмыками. Живут кибитками. Разговор имеют особливый от всех иноверцев, содержат скот – верблюдов, лошадей, овец – и имеют оного скота множественное число...». В 1803 году у калмыков насчитывалось 60452 верблюда, 288330 лошадей, 166628 голов крупного рогатого скота и 737398 овец. Но и большое количество скота степняки теряли. Исследователь Костенко писал: «Ежегодно у калмыков гибнет по несколько тысяч голов скота от болезней, шурганов и бескормицы, только в страшную зиму 1798 года погибло более полумиллиона голов скота». Во второй половине 19 – начале 20 века поголовье стало стабилизироваться. По-видимому, это объясняется переходом калмыков к полуоседлому образу жизни и заготовками на зиму кормов (рис. 65).



**Рис. 65. Процесс опустынивания на территории Черных земель Калмыкии**

В особенно плохом положении находятся восточные районы республики, где развиваются процессы опустынивания. Биологический потенциал кормовых угодий под влиянием природных факторов и сельскохозяйственной деятельности значительно снизился. Урожайность пастбищ восточной зоны сократилась в 2-2,5 раза, сбитость – увеличилась во столько же раз. Площади открытых песков составили 211,4 тыс. га.

Классические степные и полупустынные сообщества, составляющие кормовую базу животноводства, на большей части территории республики видоизменились. Запасы кормов за десятилетний

период уменьшились с 6.918,6 до 5.699,3 тысяч центнеров кормовых единиц. Площади сбитых пастбищ, особенно в полупустынной и сухостепной зонах, выросли с 2.464,4 тыс. га (49 %) до 2.728,1 тыс. га (54 %).

#### **4.3. Ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг**

Этот вид мониторинга направлен на контроль состояния орошаемых земель. Ирригационно-мелиоративный мониторинг возложен на государственную гидрогеолого-мелиоративную службу (ГГМС). *Основные задачи службы мелиоративного контроля следующие:*

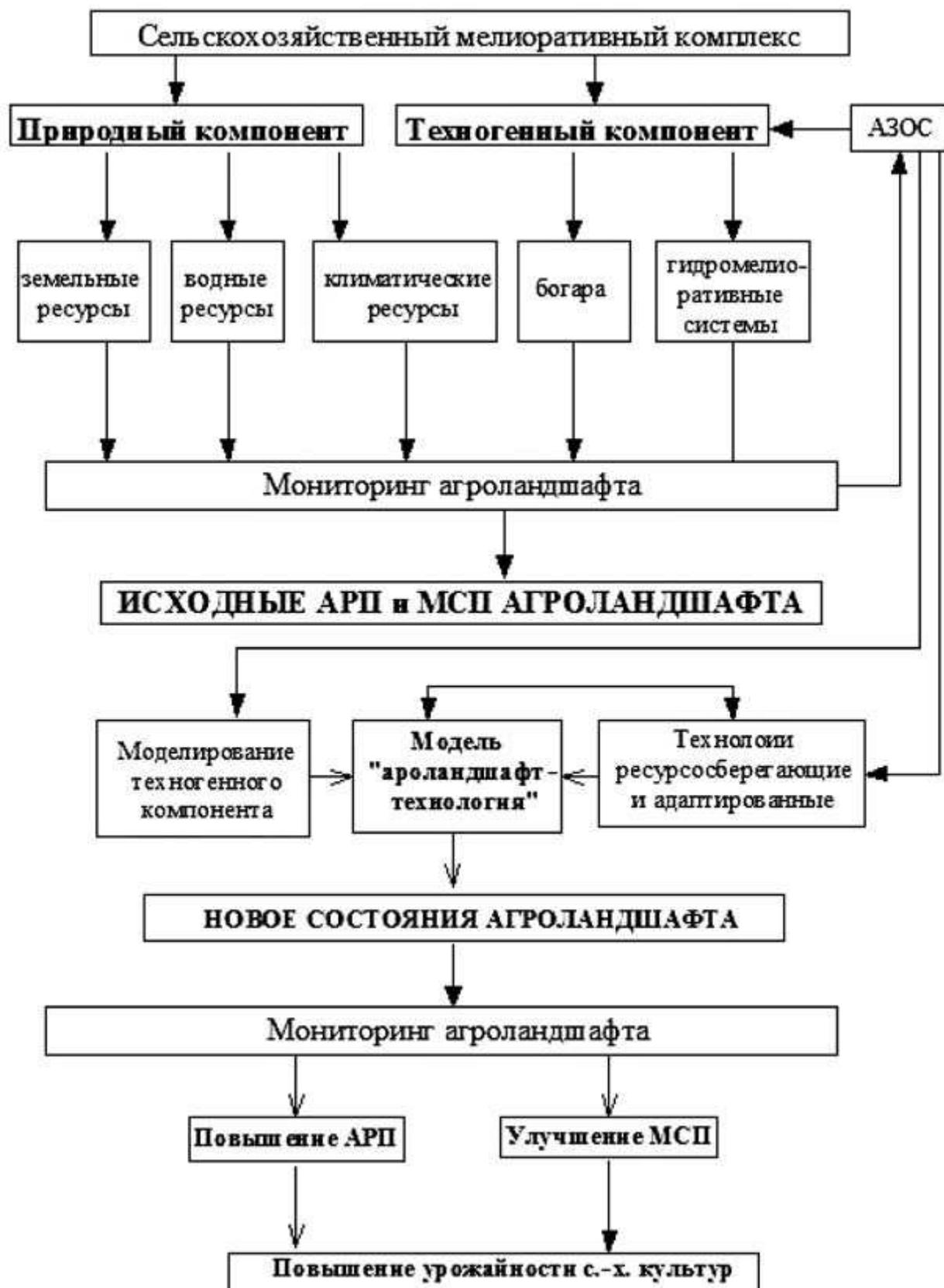
1. Оценка мелиоративного состояния орошаемых земель, эффективности мелиоративных мероприятий, достоверности почвенно-мелиоративных прогнозов и расчетов;
2. Прогноз направленности почвенно-мелиоративных процессов;
3. Разработка эксплуатационных, гидротехнических и других мелиоративных мероприятий, обеспечивающих устойчиво высокое плодородие почв.

Мониторинг орошаемых земель распространяется на земли независимо от характера их пользования и их правового режима и охватывает другие категории земель в границах мелиоративной системы или в зоне ее влияния.

Ответственность за выполнение требований по ведению мониторинга орошаемых земель несут организации, осуществляющие мониторинг, органы управления сельским хозяйством, а также землепользователи и землевладельцы этих земель. *Ирригация земель приводит к изменению всего природного комплекса:*

- рельефа;
- подземных, грунтовых, речных и коллекторно-дренажных вод;
- почв;
- растительности.

Наибольшее воздействие на орошаемых массивах на почву оказывает вода. Именно избыток воды и ее неудовлетворительное качество вызывают подъем уровня грунтовых вод, засоление, осолонцевание, подтопление и переувлажнение орошаемых и прилегающих к ним массивам. Поэтому ирригационно-мелиоративный мониторинг предполагает обязательное слежение за качеством оросительных и сбросных вод (рис. 6б).



**Рис. 66. Блок-схема системы «Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс»**

Особая ситуация складывается на рисовых полях. Специфика возделывания риса в условиях затопления нарушает гидрохимическое равновесие в системе почва — вода — соли, так как соли приносятся с оросительными водами, меняется тип водного режима. Это сопровождается подъемом УГВ, осолонцеванием, вымываются минеральные и органические вещества. Для прогнозирования этих процессов необходимо учитывать количественные закономерности формирования водного и солевого режимов, а также динамическое равновесие различных форм солей (растворенных в поровом растворе, сорбированных ППК). Так, рыболовы бьют тревогу: в водоемах, расположенных возле рисовых полей в Спасском районе Приморского края, нет рыбы. Многие жители города и района, любят рыбалку и часто приезжают с удочками в район села Новосельского — излюбленное место сотен любителей рыбалки. Но в середине мая они обратили внимание, что результат многочасовых сидений на берегу — нулевой. Рыбы нет. Проблема появилась дней десять-пятнадцать назад, когда китайские рисоводы завезли на чеки гербициды, чтобы сорняки не росли. Сейчас здесь нет ничего — ни малька, ни лягушки. Это технологический канал, но он в речку впадает! И сейчас в речке такая же мутная вода. Если дней десять назад можно было поймать пять-шесть карасей, то сейчас вообще ничего не поймаешь. Но бывает и такое на рисунке 67.



**Рис. 67. Массовая гибель рыбы на рисовых чеках**

Мониторинг состояния орошаемых земель, в том числе и рисовых, предполагает ведение постоянных наблюдений за режимом грунтовых вод, наличием солей в них и в поливной воде, а также в пахотном слое на чеках.

Для обеспечения наблюдений необходима закладка скважин режимной сети, стационарных площадок, гидрохимических постов, организация лабораторий, оснащенных необходимым оборудованием для проведения анализов.

Методика по организации и ведению мониторинга орошаемых земель разработана по результатам многолетних исследований специалистами ГУ РосНИИПМ. **Контроль качества оросительных и сбросных вод осуществляют по следующим параметрам:**

- минерализация;
- рН;
- химический состав солей;
- содержание загрязняющих веществ (ТМ, пестициды, нитраты, радионуклиды).

**Контроль состояния грунтовых вод ведется по следующим показателям:**

- уровень грунтовых вод;
- минерализация;
- рН;
- химический состав солей;
- содержание загрязняющих веществ.

Важен выбор контролируемых показателей. Количество индикаторов должно быть необходимым и достаточным — их не должно быть слишком много (это необоснованно удорожает стоимость работ), но их должно быть достаточно для выявления экологической опасности орошения. **Индикаторами ранней диагностики служат показатели:**

- влажность в слое 0—100 см;
- щелочность почвы в слое 0—100 см;
- плотность почвы в пахотном и подпахотном слоях;
- пористость почвы в пахотном и подпахотном слоях;
- водносолевой состав послойно (0—20, 20—40, 40—60 и т. д. вплоть до грунтовых вод);
- недоокисленные токсичные вещества в слое 0—100 см;
- содоустойчивость в слое 0—100 см.

При краткосрочном мониторинге список индикаторов пополняется рядом показателей: рН в слое 0—100 см; солонцеватость в слое 0—100 см; содержание доступных растениям элементов питания (легкогидролизуемый и нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий в слоях 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см). Часто показатели ранней диагностики рассматривают совместно с краткосрочными показателями.

Наиболее трудоемким является определение долгосрочных показателей: содержание, запасы и фракционно-групповой состав гумуса в слоях 0-20, 20-40, 40-60; структурное состояние в пахотном и подпахотном слоях; состав обменных оснований в слое 0-100 см; содержание карбонатов и гипса в слоях 0-20, 20-40, 40-60; минералогический состав в слоях 0-20, 20-40, 40-60.

На орошаемых территориях применяются повышенные нормы удобрений, пестициды, поэтому для контроля биологической активности почвы рекомендуют периодически определять нитрификационную способность почвы и общее число микроорганизмов.

Одним из основных показателей производительной способности почвы является урожайность сельскохозяйственных культур, сверяемая для каждого вида растений с соответствующим ГОСТом.

ГГМС организует проведение на орошаемых землях стационарных режимных наблюдений уровня грунтовых вод (3 раза в месяц), поддержание работы режимных скважин, периодически проводится солевая съемка, слежение за качеством оросительной воды. Наблюдения за почвенным плодородием на орошаемых землях — прерогатива агрохимической службы.

Мониторинг сводится к определению уровня обеспеченности питательными элементами, контролируется содержание обменного натрия (определение этого показателя ограничивается в последнее время). Этих исследований явно недостаточно для решения стоящих перед данными службами задач, и говорить о полноценном мониторинге не приходится.

Агрохимслужба должна существенно расширить набор контролируемых показателей. Каждая оросительная система должна иметь определенное количество водно-балансовых станций и водно-солевых стационаров, основная задача которых — детальное изучение процессов формирования гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий, особенностей сезонного, годового, много-

летнего режима уровня и химического состава грунтовых вод в увязке с солевым режимом почвогрунтов в зоне аэрации.

Мониторинг почвенных свойств необходимо проводить на экспериментальных участках (полигонах мониторинга), характеризующихся наиболее типичными мелиоративными и почвенными условиями. Там, где эволюция почвенных и гидрогеологических показателей протекает в ускоренном темпе, полигоны мониторинга рекомендуется размещать на участках с более сложными мелиоративными условиями.

Там же, где изменение почвенно-гидрологических характеристик проходит медленно, следует выбирать для полигонов участки со средними мелиоративными условиями. Так как почвенный покров неоднороден по своим свойствам в пространстве, для получения достоверных данных необходимо учитывать пространственное варьирование определяемых показателей. Для оценки полученной информации разработан классификатор, в котором даны критерии мониторинга орошаемых земель.

Для примера приводим результаты контроля солевого режима на рисовых чеках АО «Черноерковское» Славянского района Краснодарского края. Почва — лугово-болотная глинистая. В слое 0-30 см наблюдаются наибольшие изменения запаса солей, так как именно через этот слой проходит наибольшее количество влаги при поливном режиме или почвенного раствора в случае выпотного режима на поверхности. Природными факторами солевого режима засоленных почв являются атмосферные осадки, вызывающие нисходящие потоки почвенной влаги, а также испарение и транспирация грунтовых вод, обуславливающие восходящие токи растворов.

Рассоление почв вызывается нисходящими токами почвенных растворов, когда сумма и концентрация солей в корнеобитаемых и особенно в пахотных горизонтах сильно уменьшается. Для оценки типа солевого режима можно использовать коэффициент сезонной аккумуляции, или коэффициент выноса солей (далее КВС). КВС рассчитывается как частное от деления разности показателей весеннего и осеннего содержания легкорастворимых солей в определенном слое почвы на содержание солей весной (рис. 68).

КВС дает возможность оценить, произошло ли (и в каком размере) в течение вегетационного периода увеличение запаса солей в тех или иных частях почвенного профиля.



**Рис. 68. Рисовое опытное поле АО «Черноерковское»  
Славянского района Краснодарского края**

В зависимости от комплекса природных и хозяйственных условий, климата, глубины залегания и степени минерализации грунтовых вод, свойств поливной воды, качества обработки почвы годовой цикл солевого режима приводит к различным конечным результатам. Если размер сезонного засоления почвы приблизительно равен сезонному рассолению, то запас солей в почве из года в год не увеличивается (обратимый тип солевого режима). Если сезонное засоление превышает сезонное рассоление, то запас солей в ней из года в год возрастает (необратимое засоление).

#### **4.4. Интегральная оценка степени деградации почв**

Такая оценка может быть эффективна, когда почвы подвержены не одному, а нескольким видам деградации. Становится необходимо оценить направление деградации почв, интенсивность деградационных процессов и их скорость.

Интегральный показатель степени деградации почвы отражает информацию о глубине (силе) одного или нескольких видов деградации и времени (скорости) ее (их) действия. Под скоростью деградации понимается ухудшение свойств почвы в единицу времени. В

целях унификации для всех показателей скорость деградации можно было бы выразить скоростью перехода почвы из одной степени деградации в другую по рассматриваемому показателю. Однако шкалы для установления деградации физических, химических и биологических свойств почвы неравномерные, и поэтому определенная таким образом скорость деградации будет различной при разной степени деградации.

Поэтому в качестве характеристики скорости деградации используют величину «период деградации». Под периодом деградации понимают гипотетическое время (в годах), за которое анализируемая почва пройдет путь от 0 до максимальной степени деградации по рассматриваемому показателю. Период деградации, таким образом, есть величина, обратная скорости деградации.

Период деградации следует рассчитывать по данным за несколько лет наблюдений. Его величина может иметь отрицательное значение. В таком случае речь идет не о деградации, а об улучшении почвы за соответствующий период по рассматриваемому показателю.

Таким образом, период деградации может дать примерный прогноз изменения свойств почвы на ближайшее будущее при условии сохранения направления и темпов современных почвенных процессов. Например, почва, получившая по лимитирующему, т. е. имеющему максимальную балльную оценку, показателю степени деградации 3 балла, при периоде деградации 10 лет имеет перспективы через два года перейти из состояния сильно деградированной почвы в очень сильно деградированную.

Необходимо проводить определение периода деградации почвы не только по лимитирующему показателю, но и по всем другим, так как лимитирующий показатель с течением времени может измениться.

Интегральная оценка степени деградации почвы должна включать показатель, по которому устанавливается деградация, балл деградации и в качестве индекса (степени) к нему период деградации. Установление степени деградации возможно по любой шкале разработанных показателей деградации физических, химических, биологических свойств почв. При наличии двух или более видов деградации установление степени деградации почвы проводится по показателю, имеющему максимальный уровень деградации.

При итоговой оценке степени деградации почвы следует указывать наряду со степенью деградации процесс (или процессы), обуславливающие максимальную балльную оценку, и показатель скорости процесса, а также процесс, обеспечивающий максимальную скорость деградации.

Нами была проведена научная работа по анализу и оценке состояния земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий для систем адаптивно-ландшафтного земледелия проведена в Ставропольском крае. В состав поставленных на исследование задач была включена разработка методики оценки состояния деградации сельскохозяйственных земель.

Оценка деградированных земель сельскохозяйственного назначения осуществлялась на основе анализа топографических карт и орбитальных снимков, полученных со спутников Ресурс Ф-1 и Landsat-7, фондовых картографических материалов ландшафтного и территориального картирования и других данных, предоставленных заинтересованными организациями Ставропольского края.

***В результате исследований была представлена комплексная оценка земель сельскохозяйственного назначения в зависимости от антропогенной нагрузки и деградационных процессов по районам края с применением методов и технологий геоинформационных систем (ГИС):***

- разработана методика оценки деградации земель сельскохозяйственного назначения в зависимости от различных антропогенных факторов;

- научно обоснованы интенсивность проявления и развития различных видов антропогенной нагрузки и деградационных процессов в районах региона;

- на основе изучения результатов полевых обследований и данных дистанционного зондирования, обработанных с помощью геоинформационных систем, составлены тематические карты и атласы антропогенной нагрузки и деградированных территорий по районам края.

Нами отмечено, что в настоящее время мониторинг земель сельскохозяйственного назначения в России проводится устаревшими методами, которые не учитывают уже прошедшие деградационные процессы, а также и то, что происходит в настоящее время. Ежегодные локальные обследования в Ставропольском крае не превышают 5-7% от всей территории края. Очевидно, что необходимы

более качественные, своевременные и современные методы оценки деградационных процессов.

С этой целью в данной работе проанализированы имеющиеся данные и обработаны результаты космических снимков спутника Landsat-7 за 2000 и 2005 гг., на основании чего разработаны более строгие критерии оценки уже деградированной территории Ставропольского края и отдельных районов. Так, наиболее высокие требования предъявлялись к заболачиванию, совместному проявлению дефляции и эрозии, а также комплексной оценке деградационных процессов.

Основываясь на заключении, что недобор урожая в 50 % и более от потенциала почвенного плодородия – это уже катастрофа, мы разбили оценочную шкалу не на пять обычно принятых, а на шесть степеней деградации (табл. 6).

**Таблица 6. Определение степени деградации земель сельскохозяйственного назначения**

Балл (степень) деградации	Деградировано территории в процентах								
	засоление	солончаки и солонцовые комплексы	перевлажнение	заболачивание	эродировано дефляцией	эродировано эрозией	совместная водная и ветровая эрозии	каменистость	суммарный
<b>0 - условно отсутствует</b>	<10	<5	<3	<0,5	<3	<5	<0,5	<3	<b>&lt;0,5</b>
<b>1 – низкий</b>	10-20	5-10	3-6	0,5-1	3-6	5-10	0,5-1	3-6	<b>0,5-1</b>
<b>2 – средний</b>	20-30	10-15	6-9	1-1,5	6-9	10-15	1-1,5	6-9	<b>1-1,5</b>
<b>3 - высокий</b>	30-40	15-20	9-12	1,5-2	9-12	15-20	1,5-2	9-12	<b>1,5-2</b>
<b>4 – очень высокий</b>	40-50	20-25	12-15	2-2,5	12-15	20-25	2-2,5	12-15	<b>2-2,5</b>
<b>5 - катастрофический</b>	>50	>25	>15	>2,5	>15	>25	>2,5	>15	<b>&gt;2,5</b>

По видам деградации, приведённым в таблице, выявлена примерная площадь территорий с разной степенью (баллом) деградации: от её отсутствия (0 баллов) до катастрофической (5 баллов).

**Засоление.** Почвы, имеющие баллы 0 и 1, занимают около 17,7 % от территории края, а остальные 82,3 % имеют ту или иную степень деградации в результате засоления. Пятой степенью деградации характеризуется 3,65 % территории края. Средний балл антропогенного засоления равняется 1,84.

**Солончаки и солонцовые комплексы.** Они занимают 39,3 %; пятая (катастрофическая) степень антропогенной деградации распространена на площади 9,1 %. Средний балл антропогенной деградации для этих комплексов 1,65.

**Переувлажнение.** Только на 7,1 % территории края не отмечается переувлажнение. С низкой степенью переувлажнения – 39,4 %, со средней – 27,9 %.

**Заболачивание.** Второй (средней) степени антропогенного заболачивания подвержено 26,1 % от территории края; четвертой (высокой) степени не обнаружено, а территории пятой (катастрофической) степени занимают единый массив площадью 13,0 %. Балл антропогенного заболачивания края 1,63.

**Дефляция.** Нулевая (условно отсутствует) степень дефляции отмечена на 5,25 % территории края. Пятой (катастрофической) степенью отмечен каждый пятый гектар, а средняя степень деградации в результате ветровой эрозии равняется 2,14.

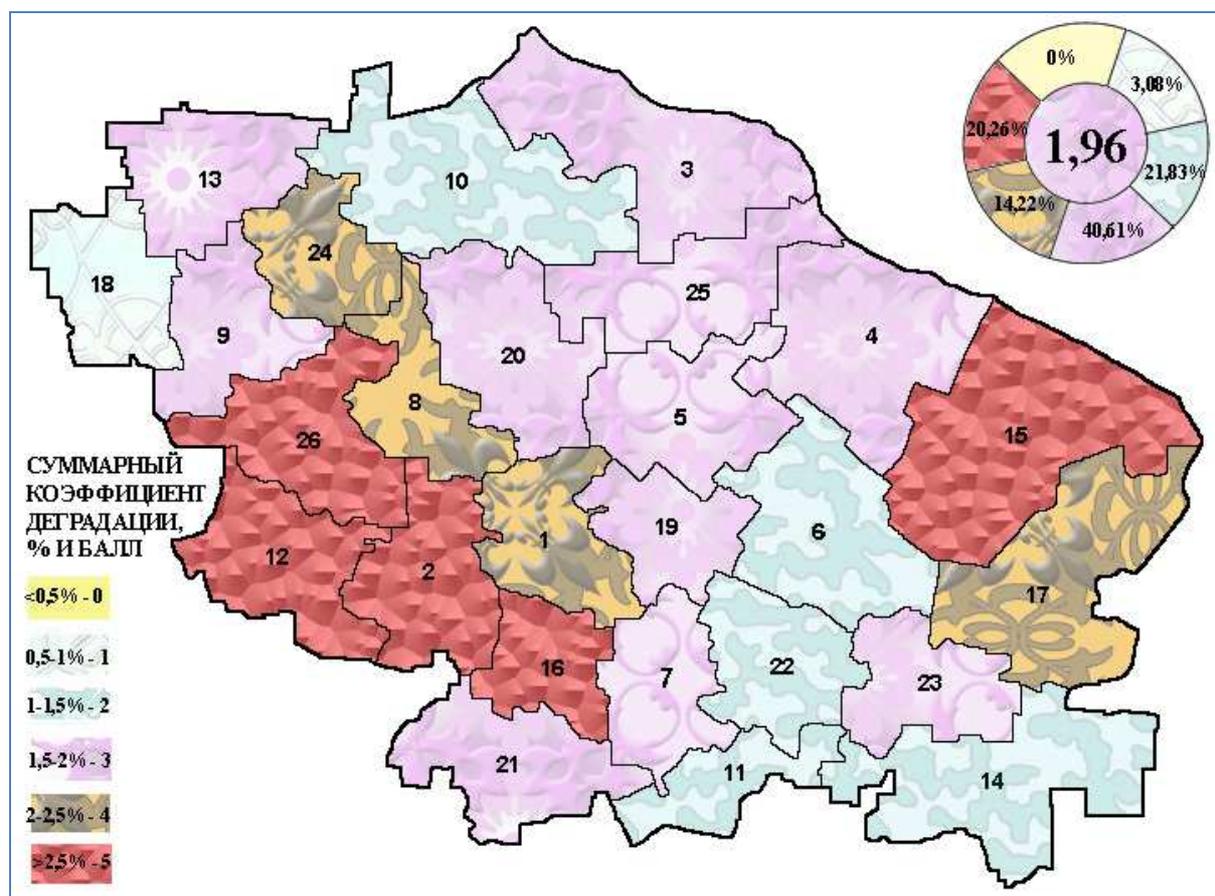
**Эрозия.** Деградированные эрозией земли края распределились в пределах от 5,7 % (вторая, средняя степень) – до 26,6 % (третья, высокая степень). Пятая (катастрофическая) степень деградации достигает 22,1 %, что повлияло на среднюю степень деградации – она равняется 2,73 или считается высокой.

**Совместное проявление дефляции и эрозии.** Высокой (третьей) степени деградации подвержено 15,2 % территории или каждый седьмой гектар края. Совместным проявлением дефляции и эрозии по пятой (катастрофической) степени охвачена территория 29,6 %.

**Каменистость.** Пятая (катастрофическая) степень деградации с площадью 15,0 %. По сумме всех степеней деградации по каменистости площадь 36,8 %. Средний балл антропогенной каменистости сельскохозяйственных земель 1,18.

Подводя итоги оценки разных показателей деградации земель Ставропольского края, определено, что самый большой процент

приходится на вторую степень деградации – 36,05 % (23929 км<sup>2</sup>) и на втором месте крайняя – пятая степень деградации – 21,78 % (14452 км<sup>2</sup>), что недопустимо на современном этапе сельскохозяйственного производства. Доли 1, 3 и 4 степеней деградации по ландшафтам края находятся в пределах 11,61-16,35 %, в сумме это 28037 км<sup>2</sup> (42,17 %). Следовательно, все ландшафты и районы Ставропольского края деградированы в результате того или иного антропогенного влияния и средний коэффициент деградации по ландшафтам равняется 1,68, а по районам – 1,96 или третья (высокая) степень деградации (рис. 69, 70).



**Рис. 69. Разработанная картосхема территории районов Ставропольского края по суммарной антропогенной степени деградации**

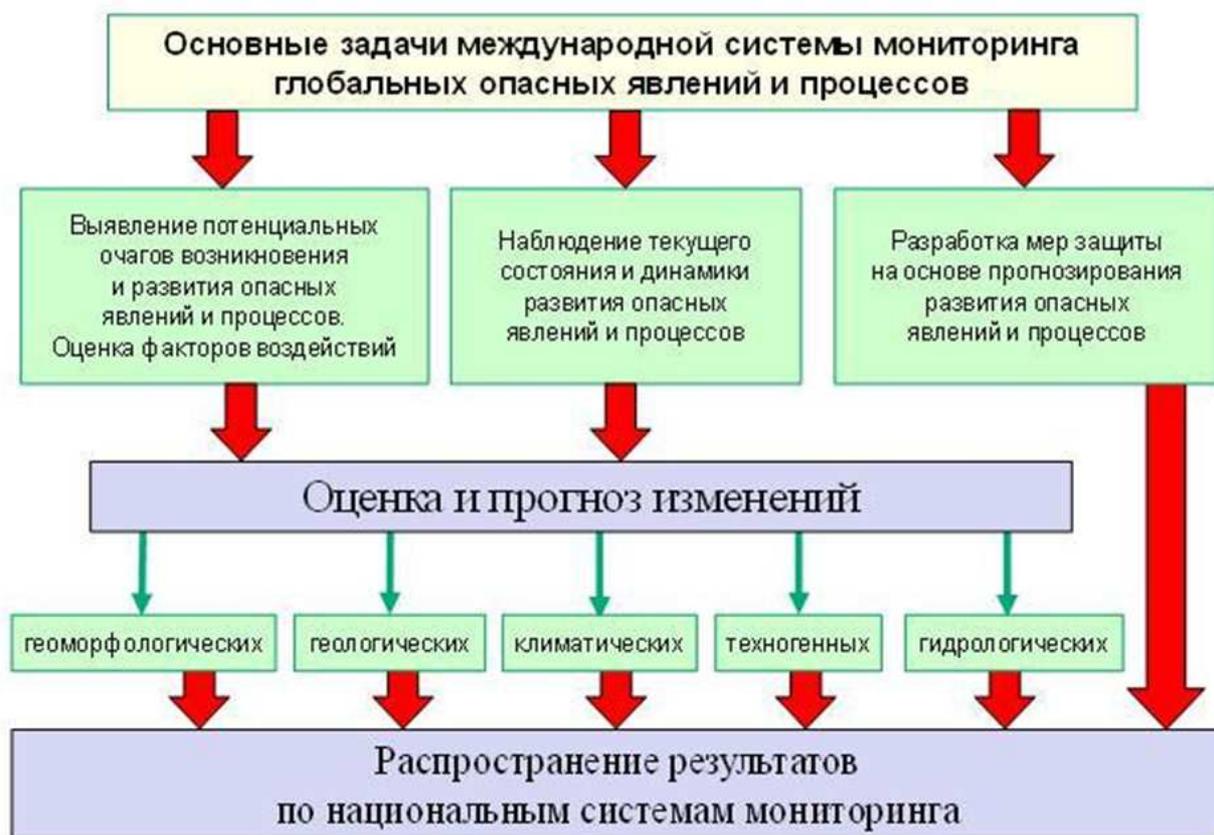


**Рис. 70. Антропогенная деградация Прикубанского ландшафта (опхоз «Темнолесское» Шпаковского района)**

*Заключение.* Подводя краткий итог описанию различных методов оценки степени деградации сельскохозяйственных земель, следует отметить, что в итоговой оценке деградации конкретной почвы необходимо рассматривать комплекс следующих показателей: факторы деградации, виды деградации, степень деградации, скорость деградации, этапы деградации, устойчивость почв к деградации, обратимость деградационных изменений, взаимовлияние процессов деградации.

С практической точки зрения для определенных конкретных условий существуют свои пределы распашки территории, трансформации ландшафтов, пределы механической и другой антропогенной нагрузки. Окультуривание почв приводит к нарушению в них естественных взаимосвязей, к увеличению неравновесности состояния, что может поддерживаться только за счет постоянного притока в систему вещества, энергии и информации. Наиболее важными причинами деградации окультуренных почв являются осушение, оро-

шение, подтопление, засоление, осолонцевание, уплотнение почв, их опустынивание, подкисление, загрязнение, механическое разрушение, проявление различных видов эрозии, почвоутомление, неправильное внесение удобрений и мелиорантов, обеднение почв, подзолообразование, осолодение и т.д. (рис. 71).



**Рис. 71. Основные задачи международного мониторинга опасных явлений и процессов и распространение их по национальным системам**

Обратимость деградационных изменений почв зависит от степени их деградации, от вида деградации, от свойств конкретных почв, агрофитоценозов, ландшафтов и др. *Габбасова И.М. выделяет пять категорий степени обратимости деградации почв:*

- 1) легкая степень обратимости, требующая простейших агротехнических мероприятий или снятия определенной нагрузки;
- 2) средняя степень обратимости, требующая специальных, более дорогостоящих мероприятий, существенной смены характера использования почвы;
- 3) затрудненная обратимость, при которой необходимо проведение комплекса сложных и длительных рекультивационных меро-

приятий, строительство капитальных сооружений и даже принципиальная смена системы использования почвы не всегда даст необходимый результат;

4) тяжелая степень обратимости, при которой восстановить свойства исходной почвы невозможно, но можно создать искусственную почву, обладающую плодородием;

5) необратимая деградация почв.

К примеру, исследования процессов деградации гумуса на дерново-подзолистой почве показали, что изменения показателей гумусного состояния, зафиксированные на уровне слабой и средней степени деградации, являются обратимыми: применение системы агромероприятий способствовало восстановлению утраченных качеств гумуса. Свойства гумуса, нарушенные в сильной степени (в условиях продолжительного избыточного увлажнения, при техногенных воздействиях, осложненных проявлением вторичных деградационных процессов и развитием поверхностного оглеения), не поддаются восстановлению с помощью агромероприятий. Характерными признаками необратимости деградации являются доминирование фульватной направленности процессов превращения органических веществ (2-4-кратное снижение показателя  $S_{гк}/S_{фк}$ , ингибирование процесса гумификации на стадии полимеризации гумусовых структур (50-80%), 2-4-кратное снижение запаса гумусовых кислот (ГК) в 40-см слое).

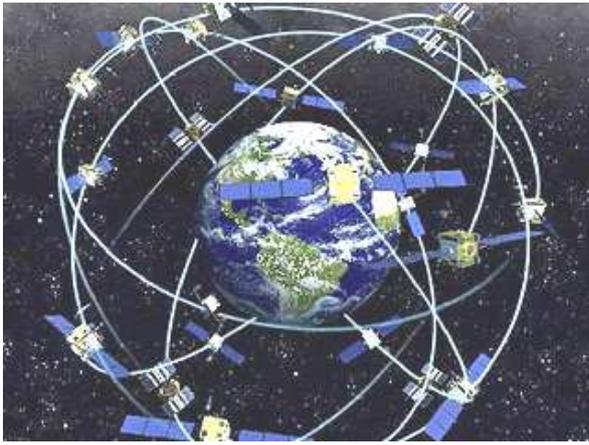
На орошаемых землях отмечаются целый ряд негативных экологических последствий, относящихся к факторам деградации почвенного покрова: вторичное за-соление, осолонцевание и слитизация почв; образование соляных водоемов в местах сброса дренажно-коллекторных вод; резкое ухудшение качества воды в реках, вследствие сброса в них дренажно-коллекторных вод; загрязнение поверхности и подземных вод избытком солей, минеральных удобрений, пестицидов, ядохимикатов; необратимые гидрологические и гидрогеологические изменения, в частности, исчерпание подземных водных ресурсов, местами сопровождающееся просадочными явлениями и др.

При осушении земель меняется гидрологический режим территории в целом: увеличивается приток грунтовых вод к осушаемым землям, несколько растет речной сток, уменьшается капиллярное подпитывание корнеобитаемой зоны. В почвах и грунтах происходят существенные изменения: уплотнение, биохимическое разло-

жение, механическая и химическая суффозия и другие. Особенно большие изменения происходят в торфах. Вследствие удаления воды из торфа происходит уменьшение его объема, называемое *усадкой* торфа, в результате чего понижается поверхность земли. При сельскохозяйственном использовании в результате осушения, обработки почвы, ускоренного аэробного биологического и химического разложения и выноса питательных веществ с урожаем, происходит *сработка* торфа. Она зависит от характера сельскохозяйственного использования земель, максимальна под пропашными культурами, минимальна под травами. При длительном сельскохозяйственном использовании торфяников их толщина может сработаться до минерального дна.

На осушаемых дерново-подзолистых и серых лесных почвах (в лесной и лесостепной зонах) в год с 1 га вымывается азота в форме  $\text{NO}_3$  – 10-30 кг; фосфора в форме  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,4-1,0; калия – 10-20; кальция – 140-180 кг; последний играет существенную роль в образовании структуры почвы, регулирует ее кислотность.

Для устранения или снижения ущерба от перечисленных выше признаков деградации орошаемых и осушаемых земель следует руководствоваться **«Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель»** и строго соблюдать зональные рекомендации по системам адаптивно-ландшафтного земледелия на мелиорируемых землях.



## **5. МОНИТОРИНГ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

### **5.1. Цели и задачи мониторинга околоземного пространства**

Вот уже более ста лет, после открытия космического излучения в 1912 г. при полете шаров - зондов, продолжается накопление данных о космических лучах различной энергии. Наблюдения ведутся как прямыми методами (наземная и подземная регистрация различных вторичных компонент, галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ) в околоземном пространстве на космических аппаратах и искусственных спутниках Земли), так и косвенными (метод атмосферных изотопов, метеоритный метод по всему земному шару и в космосе).

Примерно через 10-15 лет после открытия космического излучения сформировались следующие направления в физике космических лучей (КЛ): «ядерное», астрофизическое и космофизическое. Исследования экспериментальных данных по вариациям КЛ и осмысливание их на основе результатов космической электродинамики и физики плазмы предоставили огромные возможности, заложенные в этом разделе физики КЛ, находящемся на стыке гео-, гелио- и астрофизики. К настоящему времени достигнуты значительные успехи в определении ядерного состава и энергетического спектра первичного космического излучения, в происхождении космических лучей.

Процессы взаимодействия КЛ с солнечным ветром и электромагнитными полями в межпланетном пространстве приводят к различным изменениям интенсивности, энергетического спектра, ядерного состава и пространственного распределения КЛ при изменении условий в космосе. Кроме этого, КЛ чувствительны к изменениям атмосферы и магнитосферы Земли. Заряженные частицы первичных КЛ, прежде чем попасть на земную поверхность, распространяются через магнитосферу Земли, проходят через большой слой воздуха, взаимодействуя с ядрами которого, генерируют вторичные КЛ (элементарные частицы различных типов). Таким образом, наблюдаемая на поверхности Земли интенсивность КЛ под-

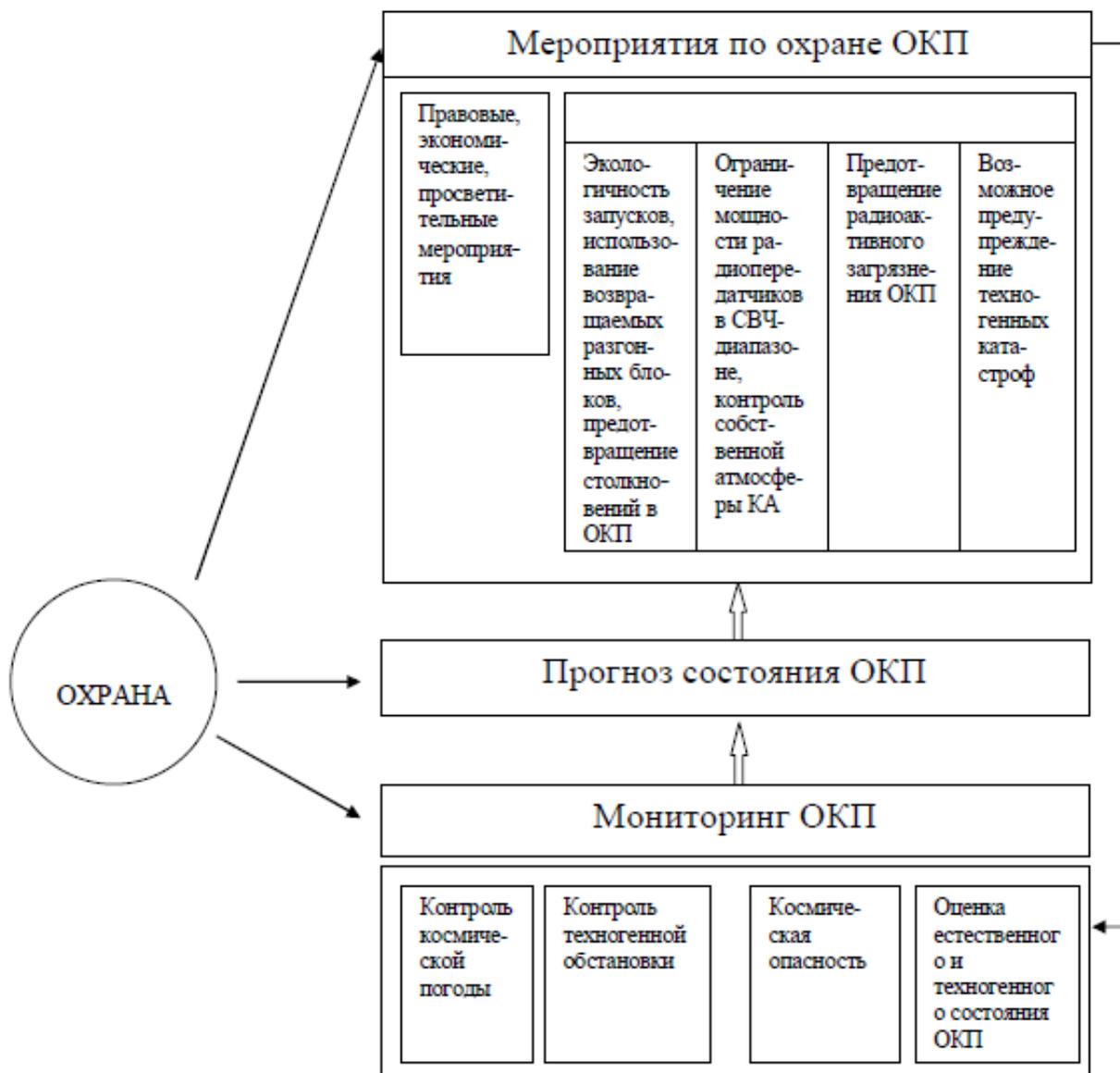
вержена влиянию как процессов на Солнце и в межпланетном пространстве, так и в магнитосфере и атмосфере Земли (рис. 72).



**Рис. 72. Систематизация спутниковых снимков**

В период проведения Международного Геофизического Года (1957 г.) была создана мировая сеть нейтронных мониторов, существующая и в настоящее время. Станции космических лучей мировой сети, расположенные по всему земному шару, вместе могут рассматриваться в качестве уникального единого детектора, проводящего измерения в различных направлениях, с разрешением по направлению прихода частиц и энергии. Программно-аппаратные комплексы станций КЛ проходили множество этапов модернизации, согласно требованиям научного сообщества, обеспечить оперативный анализ и диагностику солнечно – земных связей на современном уровне, как для фундаментальных, так и для приклад-

ных задач. Современное развитие сетевых технологий, быстродействия компьютеров и радио-электронной аппаратуры дает возможность получать, обрабатывать и публиковать данные станций космических лучей об интенсивности КЛ для оперативного прогноза и определения параметров межпланетной среды в спокойные периоды и во время спорадических процессов на Солнце, сопровождающихся выбросами в межпланетное пространство высокоскоростной плазмы солнечного ветра (СВ), электромагнитным излучением в широком диапазоне частот и генерацией высокоэнергичных частиц в широком диапазоне энергий (рис. 73).



**Рис. 73. Общая схема мероприятий по охране ОКП при осуществлении космической деятельности**

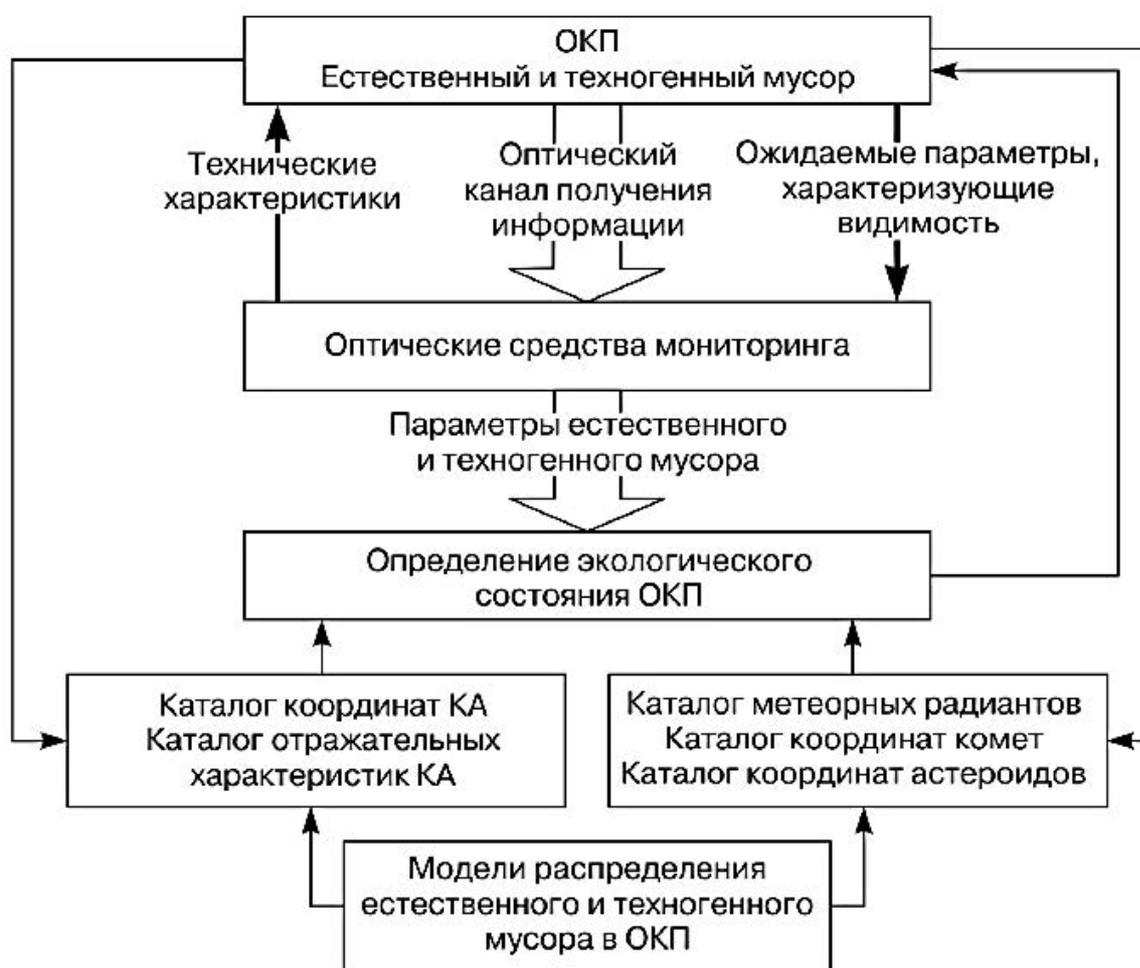
В настоящий момент мировая сеть станций насчитывает около 50 станций КЛ, из них примерно 40 станций КЛ представляют данные в режиме реального времени. Наземная сеть станций КЛ предоставляет информацию по мере накопления и обработки данных в международные центры и базы данных, для отдельных станций запаздывание составляет несколько месяцев. Такая задержка связана с неавтоматизированной обработкой и несовершенством регистрирующей аппаратуры, что делает невозможным представление данных в реальном времени. Для получения сведений о вариациях КЛ заинтересованным исследователям необходимо обращаться в центры и базы данных, где хранятся материалы, начиная с минутного разрешения. В связи с этим модернизация программно-аппаратных комплексов станций КЛ является актуальной задачей, от успешного решения которой зависит дальнейшее развитие диагностики и прогнозирования электромагнитных условий в межпланетной среде. Комплексный и оперативный анализ данных о вариациях КЛ требует полной автоматизации первичной обработки информации, своевременное поступление информации в базы данных с обновлением в режиме реального времени, предоставление широких возможностей по доступу и извлечению необходимых сведений.

Мониторинг околоземного космического пространства должен основываться на проведении регулярных измерений и наблюдений наиболее важных параметров, характеризующих "качество" околоземной космической среды и ее изменения в результате антропогенных воздействий. При этом сразу возникает вопрос: какие параметры надо измерять и с какими требованиями к пространственной и временной частоте измерений? Ведь контроль антропогенных факторов и явлений в околоземном космическом пространстве затруднен из-за значительной естественной изменчивости среды, неопределенности и многообразия источников и факторов естественного и антропогенного происхождения, влияющих на околоземное пространство.

При этом необходимо решить комплекс проблем, связанных с разработкой методик и технических средств контроля, подготовкой и организацией систем наблюдений и измерений. Основой контроля околоземной космической среды должны стать прямые и дистанционные измерения параметров околоземного космического пространства с использованием аппаратуры, установленной на космических аппаратах, поскольку только космические средства

наблюдений могут обеспечить глобальный и оперативный контроль за состоянием околоземной среды в естественных условиях и при антропогенных воздействиях.

С использованием критериев антропогенных воздействий можно будет определить возможные диапазоны антропогенных изменений параметров околоземного пространства. Совокупность этих критериев, применяемых для определения «качества» околоземной среды как части природной среды, вместе с данными прогноза антропогенных воздействий на околоземное космическое пространство явится основой для экологоэкономических оценок (рис. 74).



**Рис. 74. Блок-схема экологического мониторинга загрязнения ОКП оптическими средствами**

Понятие мониторинга окружающей среды как основной составляющей любой экологической экспертизы, вопросов охраны окружающей среды и методов ее рационального использования весьма

широко трактуется различными авторами. Анализ различных подходов к этому понятию позволяет дать некоторое общее определение мониторинга окружающей среды.

Мониторинг – (лат. monitor – надзирающий). Наблюдение и непрерывная квазинепрерывная) оценка состояния природной среды под влиянием антропогенных воздействий с целью рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Это определение можно положить в основу понятия мониторинга околоземного космического пространства (ОКП).

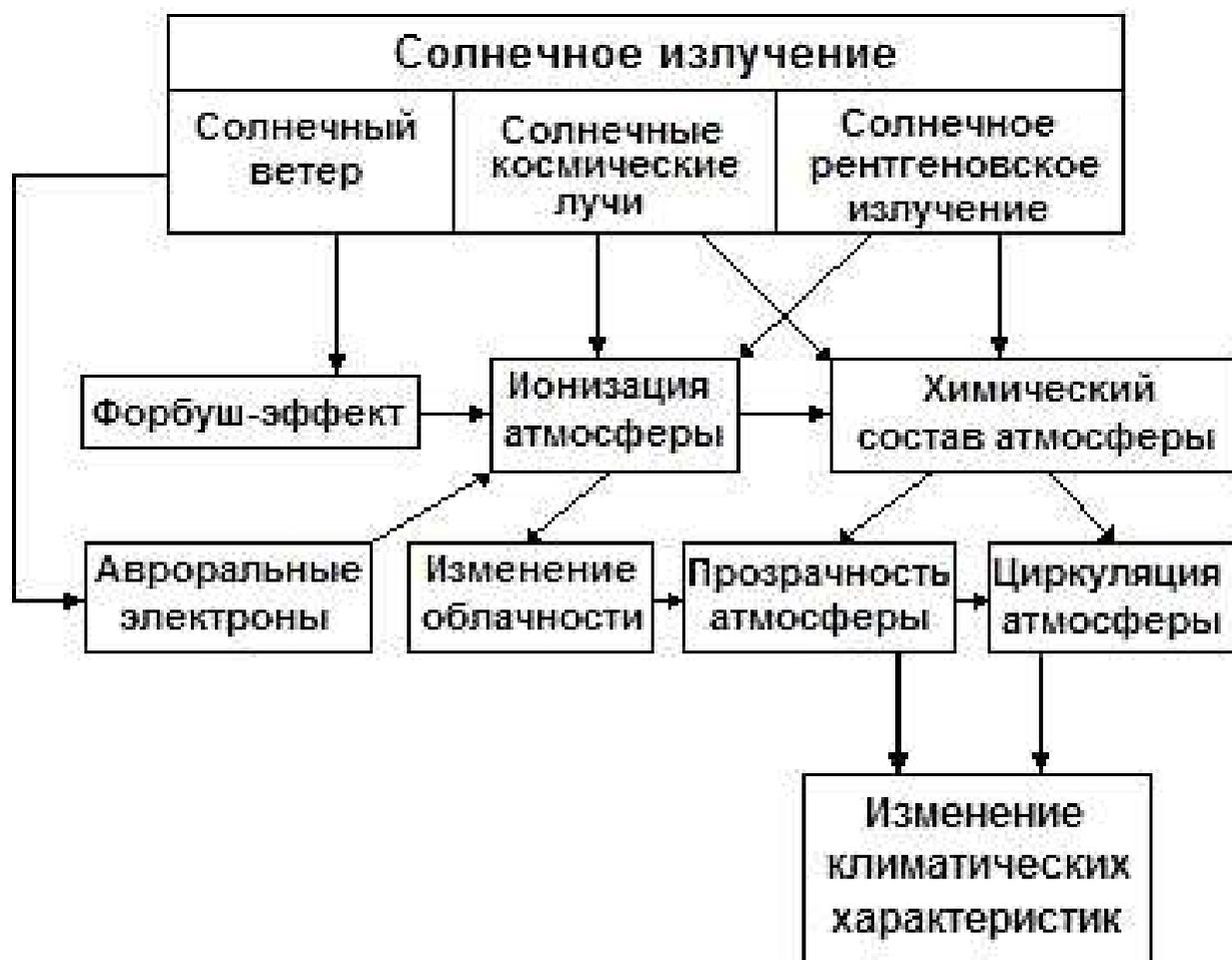
**Мониторинг околоземного космического пространства** – наблюдения и постоянный контроль состояния, естественного и антропогенного загрязнения; выработка методов оценки физического состояния околоземного космического пространства как части природной среды. Разработка прогноза возможных последствий возрастающей антропогенной нагрузки на околоземное пространство с целью как его охраны, так и предотвращения отрицательного воздействия на земную биосферу.

Разработка и координация глобального мониторинга окружающей среды осуществляется в рамках ЮНЕП при ООН и Всемирной метеорологической организации (далее ВМО). **Основные цели этой программы:**

- организация расширенной системы предупреждения об угрозе здоровью человеку;
- оценка влияния глобального загрязнения атмосферы на климат;
- оценка количества и распределения загрязнений в биологических системах, особенно в пищевых цепочках;
- оценка критических проблем, возникающих в результате сельскохозяйственной деятельности землепользования;
- оценка реакции наземных экосистем на воздействие окружающей среды;
- оценка загрязнения океана и влияния загрязнения на морские экосистемы;
- создание системы предупреждений о стихийных бедствиях в международном масштабе.

По мнению многих ученых, весьма необходимым является включение в разработку проекта глобального мониторинга окружающей среды пункт, связанный с мониторингом ОКП: оценка характеристик процессов в околоземном космическом пространстве,

связанных как с естественным состоянием, так и техногенными воздействиями на него, с целью прогноза дальнейшего воздействия ОКП на биосферу (рис. 75).



**Рис. 75. Механизм воздействия солнечного ионизирующего излучения на климатические характеристики атмосферы Земли**

В связи с тем, что ОКП является сложной системой, в которой происходят взаимодействия между ее компонентами как под влиянием различных внутренних причин, так и в большой степени внешних воздействий, следует разделить мониторинг ОКП на мониторинг его собственно физического состояния и мониторинг естественного и техногенного загрязнения ближнего космоса. *К физическому мониторингу ОКП относится, во-первых, прогноз «космической погоды, параметрами которой являются:*

- температура и концентрация компонент низкотемпературной плазмы (ионы, электроны и нейтральные частицы);

- магнитные и электрические поля и токи;
- энергетические спектры заряженных частиц и спектральный состав электромагнитных излучений.

В 1999 году была разработана шкала «космической погоды» – первая попытка систематического исследования всего комплекса явлений солнечно-земных связей, потенциально опасных для земной цивилизации. **Выделяются 3 категории явлений:**

- геомагнитные бури;
- радиационные бури;
- нарушения радиосвязи.

**Каждая категория разделяется на 5 уровней:**

- незначительный (1 балл);
- умеренный (2 балла);
- сильный (3 балла);
- очень сильный (4 балла);
- экстремальный (5 баллов).

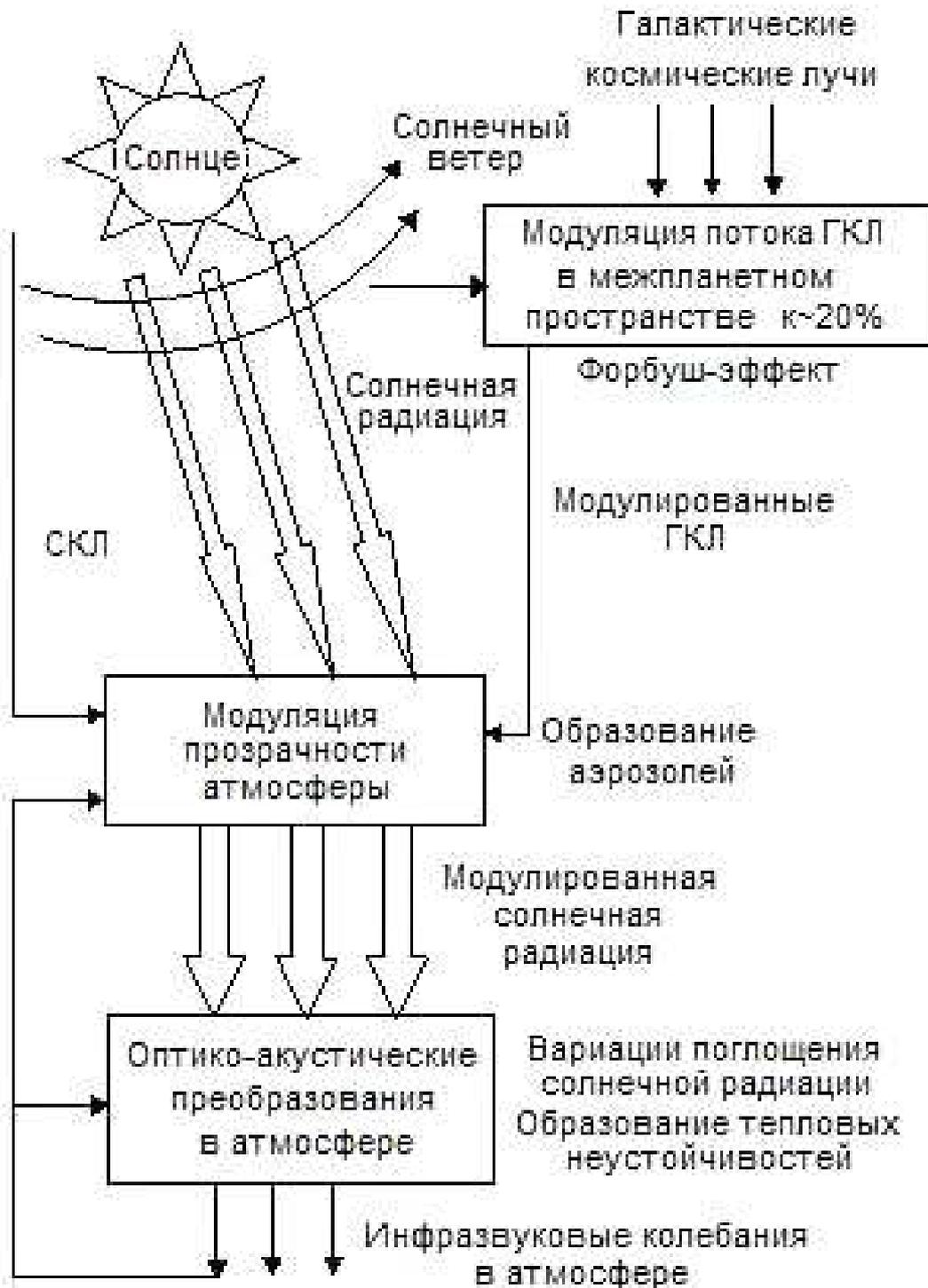
Наиболее опасны экстремальные геомагнитные бури, приводящие к полному выходу из строя сетей электропитания, появлению сильных токов в трубопроводах и практически полному прекращению радиосвязи на всех частотах. Экстремальные радиационные бури приводят к опасному облучению космонавтов, экипажей пассажиров высотных самолетов.

**Весьма большое значение имеет экологический низкочастотный электромагнитный мониторинг, который исследует:**

- роли механизмов генерации и энергетики электромагнитных излучений в процессах передачи трансформации энергии солнечно-го ветра в ионосфере и верхней атмосфере Земли;
- антропогенное электромагнитное воздействие на ОКП (излучения линий электропередач, нагрев ионосферы излучением наземных передатчиков) и обратную реакцию последнего;
- медико-биологические проблемы воздействия естественных и антропогенных электромагнитных полей;
- корреляции регистрируемых на КА излучений с экстремальными явлениями и процессами поверхности, в атмосфере и литосфере Земли (тайфуны, землетрясения, мощные взрывы, энергетические катастрофы и т.д.).

Для количественной оценки солнечной активности, играющей основную роль в формировании «космической погоды», применяются индексы, связанные с реальными потоками электромагнитно-

го излучения. Наиболее часто используется индекс F10.7 – величина потока радиоизлучения Солнца волне 10,7 см (2800 МГц), хорошо соответствующий изменениям суммарной площади солнечных пятен и количеству вспышек во всех активных областях (рис. 76).



**Рис. 76. Модель образования инфразвуковых акустических колебаний в атмосфере**

Таким образом, проблема прогноза «космической погоды» в XXI веке стала актуальной ввиду профилактики стрессовых ситуаций в работе летчиков, космонавтов, диспетчеров, операторов, даже водителей общественного транспорта. Отделения реанимации кардиологических клиник так нуждаются в таком прогнозе.

К факторам, определяющим космическую погоду, относят вариации космических лучей, то есть изменения в пространстве и во времени потока космических лучей галактического и солнечного происхождения, непрерывно бомбардирующих земную атмосферу. На поверхности Земли интенсивность космических лучей зависит от температуры и давления воздуха, широты пункта наблюдения и состояния геомагнитного поля, электромагнитной обстановки в Солнечной системе физических условий в Галактике.

В соответствии с этим вариации космических лучей, обусловленные изменением этих факторов, делят на три класса. Вариации I и II классов (метеорологического происхождения и обусловленные изменениями магнитного поля Земли) с помощью специальной методики могут быть исключены из данных наблюдений, что позволяет в чистом виде находить вариации III класса, т.е. вариации первичных космических лучей. К III классу вариаций относятся, в частности, внезапные мощные возрастания потока космических лучей, связанные с солнечными вспышками. Амплитуда вариаций первичных космических лучей зависит от энергии частиц и напряженности межпланетных магнитных полей. Большинство вариаций III класса (периодические 11-летние, 27-дневные, солнечно-суточные, а также эффект Форбуша и др.) обусловлено «выметанием» космических лучей из Солнечной системы неоднородными магнитными полями («магнитными облаками»), движущимися от Солнца вместе с солнечным ветром.

В России основные данные о состоянии «космической погоды» аккумулируются в институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН.

Техногенная засоренность ОКП достигла к началу XXI в. весьма значительных величин, что привело к созданию службы мониторинга техногенной космической обстановки средствами наблюдения наземного и космического базирования. Эта же служба позволяет следить и за естественным космическим мусором в ОКП. Так как фрагменты космического мусора дрейфуют на своих орбитах под влиянием неравномерности гравитационного поля, солнечного

ветра и магнитных бурь, требуется постоянное обновление сведений о космическом мусоре и ведение постоянно корректируемого банка данных о нем. До настоящего времени такого банка, подобного банку об ИСЗ, пока не существует (рис. 77).



**Рис. 77. Воздействие солнечной активности на биосферу через сверхвысокочастотные колебания электромагнитного поля**

Естественно, техногенное состояние ОКП, обусловленное наличием в нем космических аппаратов и отходов космической деятельности, прямо связано с его физическим состоянием.

*В нижней части ОКП на высотах 200-1000 км процессы, связанные главным образом, солнечной активностью, являются основным возмущающим фактором, влияющим на движение космических аппаратов, фрагментов техногенного и естественного мусора:*

1) Наблюдается существенный нагрев газа верхней атмосферы на высотах 300-400 км до температуры 600-800 К при минимуме и 900-1200 К при максимуме солнечной активности. Основным источником нагрева является поглощение крайнего УФ-излучения Солнца нейтральной составляющей верхней атмосферы. В высоких широтах существенную роль играют дополнительные источники энергии магнитосферного происхождения («высыпание» заряженных частиц, электродинамическая диссипация), которые при сильных геомагнитных возмущениях могут вызвать возрастание температуры на величину до 500 К.

2) Основными видами нейтральных частиц в верхней атмосфере являются молекулы  $N_2$ ,  $O_2$  и атомы  $N$ ,  $He$ ,  $H$ , а ионизованных – ионы  $N_2^+$ ,  $O_2^+$ ,  $NO^+$ ,  $N^+$ ,  $H^+$ , образующиеся под действием дальнего солнечного ультрафиолета (хотя на этих высотах содержание последних относительно невелико).

3) Разреженный газ верхней атмосферы испытывает сложный комплекс вариаций, определяемый в первую очередь пространственно-временными характеристиками источников энергии и системы динамических процессов в верхней атмосфере. ***Важнейшими вариациями плотности в верхней атмосфере являются:***

- 11-летняя, связанная с циклом солнечной активности, в течение которого плотность изменяется в среднем на величину  $\sim 20$  на высоте 600 км (область максимальной амплитуды данной вариации:

- полугодовой эффект, при котором максимальное изменение плотности на величину  $\sim 3$  наблюдается на высотах  $\sim 500$ -600 км:

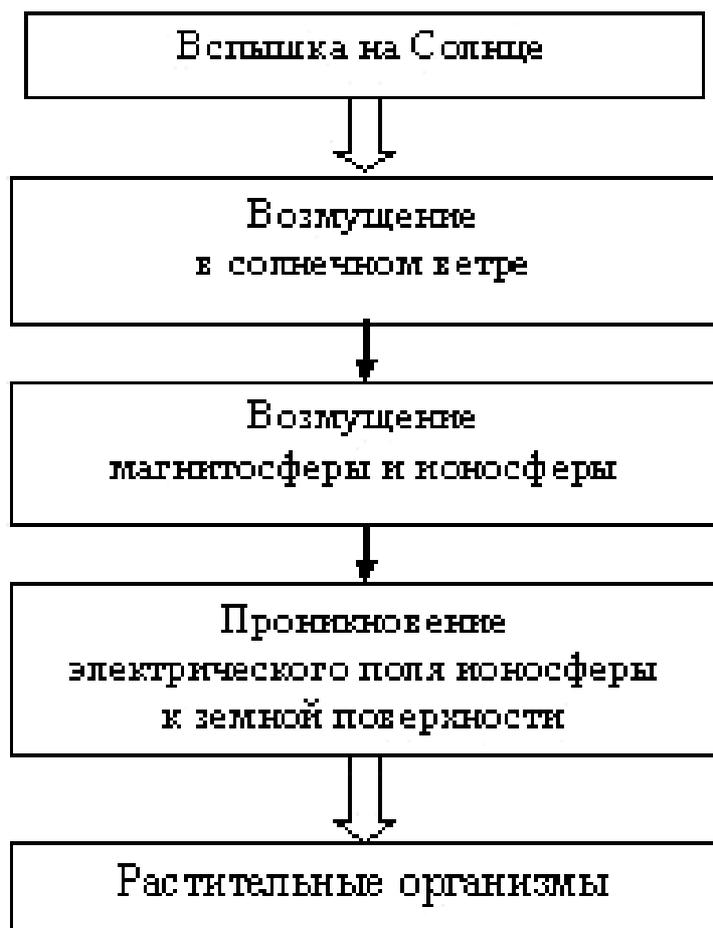
- кратковременные и нерегулярные вариации плотности, связанные с геомагнитной активностью (до на высоте 600 км).

В связи с появлением в ОКП в XX веке большого количества техногенных тел (искусственных космических объектов и техногенных отходов) было введено понятие техногенной космической обстановки, мониторинг которой осуществляется службами контроля космического пространства.

Техногенная космическая обстановка – целостное, включающее в себя множество техногенных космических тел, образование, состояние которого определяется условиями нахождения этих тел в ОКП, и факторами иного рода, со свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных техногенных тел и вытекающих из этих свойств.

**Задачи, решаемые в процессе мониторинга техногенной космической обстановки, определяются совокупностью взаимосвязанных моделей:**

- 1) информационными моделями;
- 2) моделями оценки пространственно-временного распределения техногенных космических тел;
- 3) моделями оценки состояния техногенной космической обстановки (рис. 78).



**Рис. 78. Воздействие солнечной активности на растительные организмы при проникновении к поверхности электрического поля**

Информационные модели данных о техногенных космических телах обеспечивают решение задач оценки состояния техногенной космической обстановки. При проведении системного анализа техногенной космической обстановки техногенные космические тела характеризуются набором координатной и некоординатной

информации. При анализе появления неконтролируемых техногенных космических тел в настоящее время наиболее широко применяется эмпирическое соотношение между массой взорвавшегося объекта и образовавшимися в результате обломками. Модели данных о ТК-телах, возникновение которых нельзя прогнозировать, актуализируются посредством широко применяемых в России съемных датчиков соударений, устанавливаемых на ИСЗ и орбитальных станциях. В США для этого используются данные радара *Naustek*.

Модели оценки пространственно-временного распределения, включающие в себя также модели актуализации, подразделяются

на глобальные (универсальные по области применения) и локальные, частности, модели геостационарной области. В основе координатных моделей лежит детерминированный подход с определением опасных сближений контролируемых техногенных тел с контролируемыми полезными грузами, определяемых относительной скоростью, временем появления событий, вероятностью столкновения (табл. 7).

**Таблица 7. Сравнение потоков энергии в ОКП от Солнца и Земли природного и техногенного характера**

Источник энергии	Область вторжения	$P$ , Вт	Способ переноса	$F$ , кГц
Оптический диапазон Солнца	Лобовая часть земной магнитосферы	$10^{17}$	ЭМИ*	-
Солнечный ветер	Дневной касп и хвост земной магнитосферы	$10^{11}$ – $10^{12}$	ПЧ	0-300
Молнии	Атмосфера и нижняя ионосфера	$10^7$	ЭМИ	0,2-30
Землетрясения, взрывы	Литосфера, атмосфера, нижняя ионосфера	-	ПЧ, АВ, ЭП	-
ЛЭП	Литосфера, атмосфера, нижняя ионосфера	$3 \cdot 10^7$	ЭМИ	0,05-5
ОНЧ-передатчики	Атмосфера. ионосфера	$4 \cdot 10^8$	ЭМИ	10-30
СВ и КВ-передатчики	Атмосфера, ионосфера	$10^9$	ЭМИ	0-5
<b>Примечание:</b> ЭМИ – электромагнитное излучение; ПЧ – потоки частиц вещества; АВ – акустические волны; ЭП – сейсмогенные электрические поля.				

Локальные модели геостационарной орбиты относительно свойства контролируемости ТК-инструментальными средствами делятся на координатные и некоординатные. Скорости относительного движения здесь не превосходят 100м/с и их столкновения не приводят к взрывным эффектам.

Таким образом, перечисленные модели приводят к моделям оценки состояния техногенной космической обстановки, что в общем отвечает задачам мониторинга техногенной составляющей ОКП.

По способу осуществления мониторинг ОКП как метод астрофизических исследований подразделяется на прямой и дистанционный.

К прямому мониторингу относятся все способы контроля состояния ОКП, которые можно осуществить при проведении непосредственного определения параметров околоземного пространства аппаратурой, установленной на космических объектах. Так, например, для контроля двух типов не доходящего до поверхности Земли солнечного излучения (жесткого УФ, рентгеновского и корпускулярного), запущены патрульные ИСЗ «КОРОНАС(Россия), “GOES” (USA), “YONKON” (Japan), SOHO (USA). Продолжая начатые ранее измерения потоков излучения, эти спутники стали регулярно получать также изображения Солнца в рентгеновских и УФ лучах.

Европейское космическое агентство в конце 2000 г. запустило четыре ИСЗ, образующих единую систему “Cluster”, предназначенную для изучения в ОКП магнитного поля Земли, его взаимодействия Солнцем. Система изучает структуру магнитосферы, ее под действием солнечного ветра.

Зафиксированы перемещения полярных каспов, хотя ранее считалось, что их пространственное положение достаточно стабильно. Получено первое экспериментальное доказательство существования волн в магнитопаузе.

Сюда же относится определение физических параметров плазмы магнитосферы и ионосферы, величин магнитного и электрического полей и т.д., а также изучение распределения частиц космического мусора техногенного и естественного происхождения при помощи датчиков соударения.

Кроме того, большое значение имеет изучение воздействий процессов в ОКП на сами космические аппараты: образование поверхностного заряда, воздействия галактических и солнечных космических лучей, сопротивление слоев верхней атмосферы, столкновения с космическим мусором метеорными телами, эффекты ориентации, фотонный шум, деградация поверхностей.

**К дистанционному мониторингу** относятся, по сути, все методы изучения ОКП, возможные доступных с поверхности Земли диапазонах электромагнитных колебаний, представляющие оптимизированные к соответствующим условиям методы астрофизических исследований. Данные дистанционного мониторинга при сравнении с данными геофизического мониторинга состояния био-

сферы позволяют к какой-то степени оценивать воздействие процессов в ОКП на процессы биосфере, прогнозировать экологическую ситуацию на Земле в зависимости от воздействия из космоса (табл. 8).

**Таблица 8. Основные последствия столкновения небесных тел с Землей**

Поражающий фактор	Результат влияния	Длительность влияния	Масштаб действия	Энергия соударения, Мт
Пыль в атмосфере	«ядерная зима»	годы	глобально	$>10^5$
	прекращение фотосинтеза	месяцы	глобально	$>10^6$
	полная темнота	месяцы	глобально	$>10^7$
Пожары	горение, дым	часы	локально	$\geq 10^4$
		месяцы	регионально	$>10^6$
		месяцы	глобально	$>10^7$
Окислы азота	кислотные дожди, нарушение озонового слоя	дни	локально	$>10$
		месяцы	регионально	$>10^3$
		годы	глобально	$>10^5$
Ударная волна	механические разрушения	минуты	локально	$>10^4$
		часы	регионально	$>10^7$
Цунами	механические разрушения	часы	регионально	$>10^4$
Выбросы воды и углекислоты	потепление климата	десятилетия	глобально	$>10^4$

Активные методы дают возможность изучить в контролируемых условиях основные физические процессы, протекающие при антропогенных воздействиях на ОКП. При их использовании изучается реакция околоземной среды на контролируемое возмущение, производимое путем инъекции плазмы, нейтрального газа, пучков частиц и электромагнитных излучений. Поэтому иногда эксперименты в космосе, связанные с использованием активных методов, называют контролируемыми. Это подчеркивает связь между откликом среды и начальным возмущением, параметры которого контролируются. *В зависимости от степени возмущения среды активные эксперименты могут быть разделены на две группы.*

*К первой группе* относятся эксперименты типа меченых атомов, которые практически не возмущают среду, а в основном трассируют процессы и явления. *Эксперименты второй группы* предполагают осуществление локальных дозированных возмущений среды. Классическим примером экспериментов первого типа является исследование процессов в околоземном пространстве с помощью искусственно создаваемых светящихся облаков, которые образуются в результате инъекции паров щелочных металлов: лития, натрия, бария, цезия с борта ракет и космических аппаратов. Первые эксперименты такого рода были проведены еще самом начале космической эры. Подобные методы позволяют также глубже понять явления, возникающие при взаимодействии космических аппаратов с окружающей средой. В частности, с использованием активных методов можно определять преимущественные каналы антропогенных воздействий, эффективность их влияния различные области околоземного пространства.

Наконец, что весьма важно, активные эксперименты дают информацию для оценки масштабов антропогенных воздействий и их последствий, а также установления экологических границ космических экспериментов и производственной деятельности космосе. Понятие экологические границы используется для обозначения ограничений на такие воздействия, которые приводят к нежелательным возмущениям планетарной и космической среды или разрушению уникальных космических объектов. Следует отметить, что проблема определения экологических границ человеческой деятельности в околоземном пространстве весьма актуальна.

## **5.2. Анализ возможностей современных средств мониторинга загрязнения околоземного космического пространства**

Процессы, протекающие в ОКП, законы движения в нем тел различного происхождения определяют, соответственно, и методы создания и функционирования систем экологического мониторинга в этой области окружающей среды (рис. 79).

*Методология создания таких проблем ориентированных систем базируется на положениях системного анализа, основными принципами которого являются:*

- системное единство, предусматривающее целостность системы в целом, ее подсистем, включая систему управления;

- информационное единство и совместимость, обеспечивающие единство информационного пространства, структурных связей между подсистемами и их функционирования;
- комплексность и инвариантность, состоящие в том, что компоненты, элементы и звенья системы в целом и подсистем должны быть связанными и универсальными;
- включение и развитие, определяющие, что требования к системе формулируются со стороны системы более высокого уровня, причем предусматривается возможность совершенствования дальнейшего развития элементов и связей между ними.



**Рис. 79. Компоненты техногенной космической обстановки**

В самом общем виде система мониторинга окружающей среды – интегрированная, многоуровневая, иерархическая система с соответствующей информационной, аппаратурно-методической и контрольно-измерительной базой.

Особенности мониторинга объектов в ОКП привели к тому, что экологический мониторинг ОКП базируется на методах и аппаратуре околосемной астрономии, радиоастрономии, радиолокации, космических исследований.

***Земная атмосфера почти полностью прозрачна для падающего электромагнитного излучения лишь в двух сравнительно узких окнах:*** оптическом – от 300 нм до 1,2-2 мкм (ИК-область до 8 мкм состоит из ряда узких полос пропускания) и в радиодиапазоне – для волн длиной от 1 мм до 15-30 м.

***Непрозрачность атмосферы*** для всех других волн определяется поглощением и рассеянием излучения на молекулах и атомах, а также отражением радиоволн от электронов ионосферы магнитосферы.

В интервале 180-100 нм поглощение определяется процессами ионизации и диссоциации кислорода, содержание которого уменьшается с высотой и становится исчезающе малым на высотах выше 150 км.

В области короче 100 нм поглощение связано с процессами ионизации молекулярного азота атомарного кислорода. Уменьшение их концентрации с высотой приводит к тому, что выше 150 атмосфера становится полностью прозрачной во всем УФ-диапазоне.

***В рентгеновском и гамма диапазоне*** поглощение зависит от количества вещества, расположенного выше данного уровня атмосферы. В связи с этим, начиная с 30-40 км атмосфера становится практически прозрачной для фотонов с энергией, превышающей 20 кВ (то есть для длин волн короче  $0,5\text{Å}$ ). До поверхности Земли первичные космические лучи и гамма излучение не доходят (рис. 80).

***В ближнем ИК-диапазоне*** (короче 5,5 мкм) имеется несколько окон прозрачности и зависимость пропускания атмосферы от длины волны имеет весьма сложный вид. В дальнем ИК-диапазоне расположено лишь два окна прозрачности 8-13,5 мкм и 16-26 мкм. В длинноволновой части первого окна расположены крылья полосы поглощения молекулы  $\text{CO}_2$  с центром около 15 мкм. В этой полосе прозрачность достигает 50-80%. В области 9,3-10 мкм расположена слабая полоса поглощения озона.



**Рис. 80. Воздействие солнечной активности на биосферу при деградации озонового слоя и увеличении интенсивности ультрафиолетовой радиации**

*Поглощение во втором окне* определяется молекулами  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . В области субмиллиметровых волн ( $\lambda > 100$  мкм) поглощение определяется молекулами  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ . В области миллиметровых длин волн ослабление падающего излучения зависит от влажности атмосферы и определяется полосами поглощения водяного пара и молекулярного кислорода. В декаметровом диапазоне радиодиапазона непрозрачность атмосферы определяется отражением радиоволн от ионосферы и зависит от ее состояния и состояния нижних слоев магнитосферы.

Таким образом, *выбор средств мониторинга ОКП* определяется пропусканием атмосферой ионосферой Земли падающего на нее электромагнитного и корпускулярного излучения. Это позволяет разделить средства мониторинга ОКП на наземные, использующие все виды астрофизических приборов для регистрации излучений и космические, в которых такие приборы наряду с датчиками соударений размещаются на искусственных космических объектах.

*К наземным средствам мониторинга* состояния нижней части ОКП – ионосферы относятся, главным образом, радары некогерентного рассеяния.

Если первые радиолокаторы работали в диапазоне коротких волн КВ, то для радиолокации ближнем космосе потребовалось перейти к частотам, для которых ионосфера Земли была бы прозрачна.

Поскольку критическая частота максимума ионизации редко превышает значения 11-13 МГц, рабочие частоты радаров выбирались в диапазоне 40 МГц и выше. На этих частотах отражения неоднородностей ионосферы в средних широтах, где расположена большая часть средств наблюдения, практически отсутствуют, следовательно, начиная с частоты 40 МГц, можно было конструировать радиолокаторы для наблюдения за космическими объектами. Верхняя частота диапазона работы РЛС ограничивается частотами 1-2 ГГц, поскольку при длине волны менее 2-3 см, сигнал испытывает сильное рассеяние на турбулентностях нейтральной атмосферы. Кроме указанных ограничений, на работу радиолокаторов влияют естественные радиоисточники: Солнце, галактический шум, отдельные звездные радиоисточники (например, из созвездия Лебедя и крабовой туманности). В разных диапазонах длин волн мощность радишума разная, она максимальна в КВ диапазоне и существенно падает частоте выше 200 МГц.

Поскольку *требуемая дальность радиолокации* составляет тысячи, и десятки тысяч километров, импульсная мощность РЛС достигает 5-6 МВт. По мере развития космической техники встали вопросы о свойствах околоземного пространства и о возможности проводить его диагностику радиофизическими методами. Этот интерес имел не только прикладной, но и чисто фундаментальный научный характер. Хотя диагностика ионосферы в 50-х годах уже активно проводилась, наземные КВ ионозонды давали информацию только о концентрации электронов ниже главного ионосферного

максимума. Изучение других характеристик среды, таких температура, ионный состав, скорости дрейфа начало проводиться с помощью ракет в конце 50 начале 60-х годов.

В процессе исследования свойств ионосферы оказалось, что электроны плазмы не являются свободными, а их движение контролируется более тяжелыми ионами. После этого в 1961-1967 годах последовал ряд научных работ, в которых была разработана теория термального рассеяния, которое назвали некогерентным, и метод получил название метода некогерентного рассеяния (НР).

В отличие от КВ – зондирования, где используется сигнал, отраженный от ионосферы, основная мощность при измерении сигналов НР проходит сквозь ионосферу, и назад возвращается очень слабый сигнал, для регистрации которого используется специальная обработка и длительное статистическое усреднение. При этом метод НР не ограничен высотами ниже максимума ионизации, и кроме электронной концентрации позволяет измерять температуры электронов и ионов, скорость дрейфа плазмы вдоль направления зондирования и ионный состав. Современные знания о структуре ионосферы и ее динамике во многом основаны на данных радаров НР, полученных начиная с 60-х годов (рис. 81).



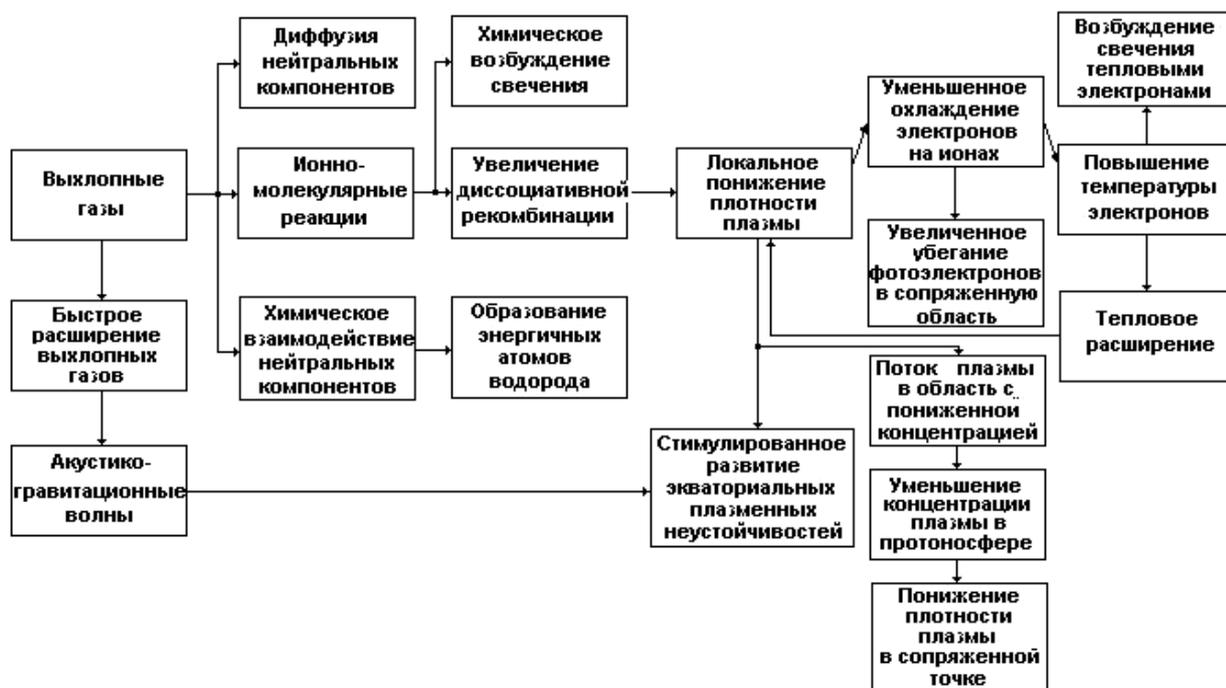
**Рис. 81. Схема основных средств техногенного воздействия на ОКП (Дмитриев, Шитов, 2003)**

*К средствам мониторинга космического мусора в ОКП* относятся радиолокационные, лазерные и оптические устройства, позволяющие вести наблюдения вплоть до геостационарных орбит.

Наземные радиолокационные станции, работающие в диапазоне от миллиметрового до метрового, осуществляют в настоящее время непрерывный обзор ОКП. Следует отметить, что именно планетные радиолокаторы позволили измерить на низких орбитах концентрацию и распределение частиц с размерами, большими 2 мм. Постоянный контроль таких частиц космического мусора на низких орбитах осуществляется, главным образом, с помощью РЛС «Haystack» (США) «Egan» (Германия). В отличие от оптических наблюдений *радиолокационный метод* использует отраженное излучение, созданное собственным передатчиком. Несмотря на невысокое угловое разрешение, когерентность излучения позволяет непосредственно измерять лучевую скорость и расстояние до объекта.

*Задача наблюдения объекта в ОКП распадается на две стадии:* стадию обнаружения и первоначального определения орбиты объекта и стадию сопровождения и уточнения его орбиты с использованием прогноза движения. Решение первой задачи при отсутствии априорных данных об орбите требует быстрого обзора больших областей пространства. Особенно жестким это требование является в отношении низкоорбитальных ИСЗ (диапазон высот от 200 до 2500 км). Радиолокатор должен не только зафиксировать наличие объекта, но и пронаблюдать его на некоторой дуге, чтобы определить угловую скорость движения и продолжить сопровождение вне барьера. Опыт проектирования средств наблюдения показывает, что выполнить эти требования могут только радиолокаторы с фазированными антенными решетками (далее ФАР). Эти РЛС обнаруживают цели в режиме обзора барьера, а затем сопровождают их в зоне электронного сканирования (рис. 82).

*Большое значение для нашей страны имеет разработанный ОКБ МЭИ комплекс радиолокационного мониторинга ОК.* Базой комплекса «Кобальт-РЛС» являются радиотелескопы ТНА-1500, размещенные на подмосковном пункте «Медвежья Озера» и в г. Калязин (Тверская обл.), а также передатчик С-диапазона мощностью 3,9 кВт в непрерывном режиме.



**Рис. 82. Схема физических процессов и последствий запусков РКТ на верхнюю атмосферу (Адушкин и др., 2000)**

Еще одно направление работ развивается ГАО РАН, где координируются радиолокационные исследования высокоорбитального космического мусора на базе больших антенн бывшей сети слежения за межпланетными космическими аппаратами. Российская сторона облучает объекты с помощью передающей 70-м антенны в Евпатории, а российская сторона обеспечивает прием эхо-сигналов на РТ64 в Медвежьих Озерах.

*Российская радиолокационная система*, состоящая из 70-метровой антенны и передатчика 6-сантиметрового диапазона со средней мощностью 150 кВт в Евпатории и двух антенн ОКБ МЭИ до сих пор остается одним из основных средств контроля ОКП, которая и обеспечивает основную массу исследований в этой области.

Для мониторинга параметров солнечного ветра, орбит межпланетных КА, астероидов, космического мусора и ИСЗ применяют метод радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами РСДБ (рис. 83).

Основные принципы РСДБ заключаются в следующем. Космические объекты или явления наблюдаются по единой программе одновременно на нескольких радиотелескопах (антеннах), расположенных на расстояниях от нескольких десятков до многих тысяч километров друг от друга. Радиосигналы от объектов когерентно

принимаются в заданном диапазоне частот высокочувствительными радиоприемниками, преобразуются на промежуточную частоту, затем требуемая полоса частот вырезается видеоконверторами в зависимости от спектра принимаемого радиосигнала, оцифровывается и записывается на какой-либо носитель. Последующая обработка позволяет получить как физические параметры межпланетной среды, так и параметры движения объектов в Солнечной системе и ОКП.



**Рис. 83. 70-метровый радиотелескоп Центра космической связи в Евпатории**

*В период с 1969 по середину 2002 г. основные исследования тел Солнечной системы методом радиолокации проводились в США:*

- астероиды главного пояса – 75 (США);
- опасные астероиды – (США), 3 – Европа и Россия;
- кометы – 6 (США).

С использованием Российских и общеевропейской сети радиолокаторов на базе крупных радиотелескопов мониторинг ОКП постепенно налаживается и на территории Евразии. Сюда же входит радиотелескоп Р-70 в Уссурийске, который был построен в 1979 г., и использовался для радиоинтерферометрических наблюдений космических аппаратов, запущенных к комете Галлея в 1986 г.

К перспективным средствам получения некоординатной информации о телах различного происхождения в ОКП относится радар некогерентного рассеяния Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск), являющийся одним из главных геофизических инструментов России по контролю физического состояния ионосферы. Дистанционное зондирование в диапазоне частот 1 МГц-40 ГГц

является наиболее эффективным методом мониторинга состояния ионосферной плазмы.

Режим частотного сканирования и веерная диаграмма направленности, высокий потенциал позволяют радару осуществлять одновременно с определением параметров ионосферы измерение некоординатной информации о телах в ОКП.

Разработанные в настоящее время двухпозиционные радиолокационные системы и высокопотенциальные РЛС сантиметрового диапазона могут быть использованы для регистрации космического мусора размером от нескольких мм до нескольких см в диапазоне расстояний до геостационарной орбиты.

**Наземные лазерные локационные средства** способны с высоким разрешением обнаруживать и распознавать космические объекты размерами от нескольких мм на низких орбитах до ~5-10 см на орбитах высотой до 40000 км.

**Основная задача лазерных локационных средств** состоит в определении расстояния до объекта ОКП с высокой точностью. Это весьма важно, когда объект движется вдоль луча зрения, то есть в случае, когда угловые измерения вообще не дают информации для определения его положения (падающий спутник или фрагмент космического мусора, опасный для Земли астероид). Ряд таких лазерных локаторов, совмещенных с оптическими средствами наведения, работает во всем мире и дает точность определения расстояния в ОКП до 1 см. **В настоящее время Российская лазерная сеть включает в себя:**

- станцию в районе Комсомольска-на-Амуре (поддержание каталога космических объектов и космического мусора станцию «Космотэн» на Северном Кавказе (координатные измерения, а также фотометрические наблюдения с целью распознавания ИСЗ и космического мусора, система адаптивной оптики);

- станцию в г. Щелково Московской области (определение дальности объектов до расстояний 40000 км с погрешностью меньшей 1 см);

- совместную с Узбекистаном станцию на г. Майданак.

**Современный лазерный локатор** может проводить локацию даже не имеющих уголкового отражателя объектов в ОКП при условии достаточной точности наведения на них. То есть, оптический телескоп, который может дать такую точность, должен в перспективе иметь оптическую систему, позволяющую использовать его

для определения дальности до обнаруживаемых объектов методом лазерной локации.

Однако, ввиду отсутствия статистической информации об отражательных свойствах поверхностей космического мусора в диапазоне частот излучения лазерных дальномеров, они не используются для непрерывного мониторинга ОКП.

Одним из основных средств мониторинга ОКП являются оптические наблюдения, позволяющие обнаруживать, сопровождать, распознавать космические тела размерами от 5 см на низких орбитах до 1 м на геостационарных орбитах. Единственным недостатком оптических систем является прямая зависимость от условий наблюдения (состояние атмосферы, яркости фона неба и др.), что в значительной степени стимулирует создание оптических систем мониторинга ОКП космического базирования.

**Освещенность земной поверхности отраженным (рассеянным) астрономическим объектом (АО)** излучением зависит от ряда причин. Без учета дополнительного освещения АО (искусственного) Землей и Луной монохроматическая освещенность, создаваемая ИКО на поверхности Земли, выразится.

К основным методам оптического мониторинга относятся методы астрометрии и небесной механики, предоставляющие данные для определения орбит, многоцветная фотометрия, спектральный поляриметрический методы (некоординатная информация), необходимые для распознавания объектов.

Однако, ввиду специфики оптических наблюдений объектов в ОКП, наибольшее развитие получила, главным образом, их BVR-фотометрия, оперативно осуществляемая с использованием ПЗС-приемников.

**Основная масса наблюдений** производится в полосах В ( $m=440$  нм), V ( $m=550$  нм) и R ( $m=720$  многоцветной фотометрической системы). BVR-мониторинг тел естественного и техногенного происхождения в ОКП позволяет производить их идентификацию, что пока недостижимо другими методами исследований.

**К средствам оптического мониторинга ОКП** можно в принципе отнести любой телескоп, помощью которого можно обнаружить объект, произвести измерения его орбиты и оптических характеристик. Исследования объектов на низких орбитах при помощи крупных телескопов, имеющих параллактические и азимутальные монтировки, ввиду невозможности отслеживания ими быстро-

движущихся по небесной сфере объектов, не проводятся. В этих случаях при исследовании техногенного мусора в ОКП применяются главным образом телескопы на монтировках, специально разработанных для наблюдений ИСЗ (низкие орбиты), различные модификации камер All-Sky (главным образом, при изучении метеорных потоков в ОКП). Исключение составляют наблюдения объектов геостационарных орбитах.

Все эти методы образовали новую науку, занимающуюся мониторингом объектов естественного и искусственного происхождения в ОКП – околоземную астрономию. ***Средствами, занимающимися поиском опасных астероидов еще задолго до попадания последних в ОКП являются:***

- Паломарская служба инспектирования астероидно-кометных тел,
- Паломарская служба инспектирования астероидов, пересекающих орбиты планет, пункт поиска опасных астероидов на обсерватории Китт-Пик Spacewatch,
- англо-австралийская служба инспектирования опасных астероидов и т.д.

***В России и странах СНГ такими обсерваториями являются:***

- Крымская астрофизическая обсерватория,
- Специальная астрофизическая обсерватория РАН (Северный Кавказ),
- обсерватория астрофизического института Казахской АН.

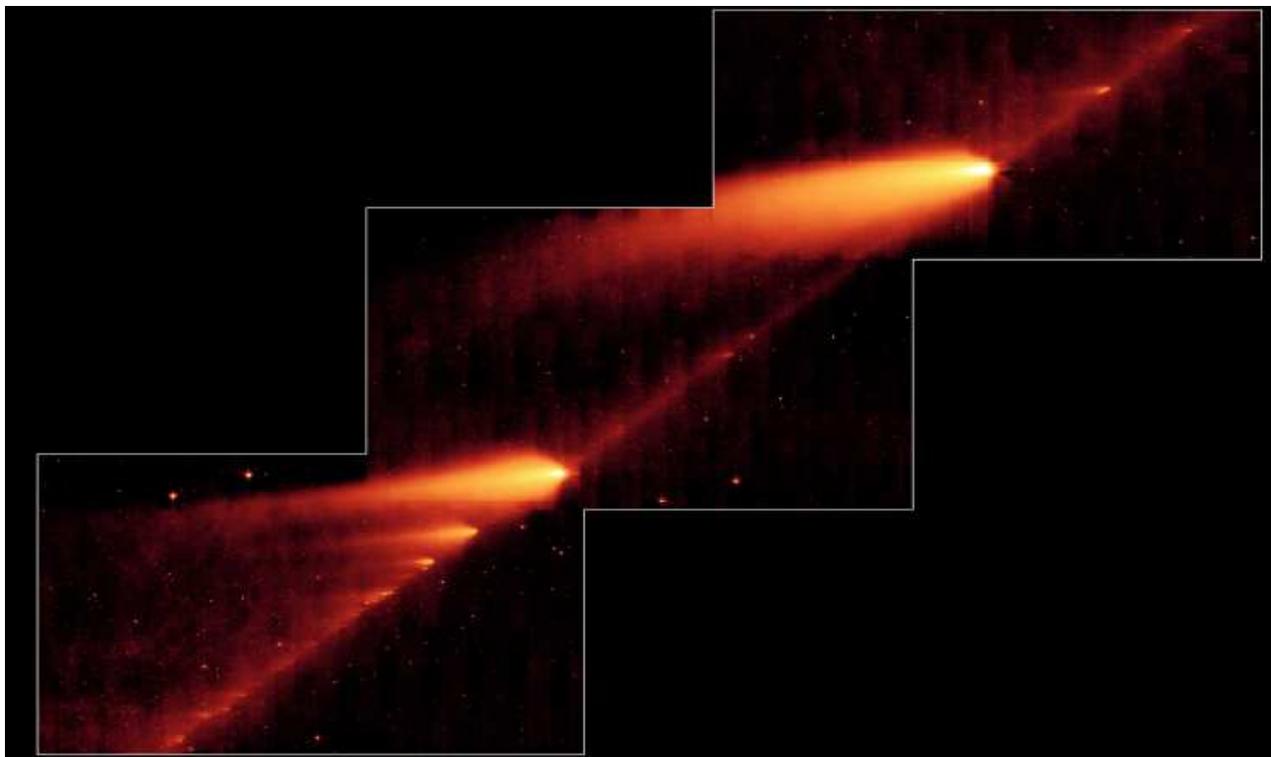
Эпизодическими исследованиями в этой области занимаются практически все университетские обсерватории России.

Основную роль в открытиях астероидов играет в настоящее время проект Массачусетского технологического института LINEAR, по которому 1998 г. ведутся ПЗС-наблюдения опасных астероидов и объектов в ОКП (рис. 84).

К 2007 г. открыто около 4600 близко проходящих к Земле объектов (Near Earth Objects – NEOs из них потенциально опасных (Potentially Hazardous Objects - PHOs) – около 850.

С 2005 г. начала работать Пулковская кооперация оптических наблюдений (ПулКОН), в рамках которой организована протяженная сеть оптических телескопов для выполнения координированных наблюдательных программ для решения научных и прикладных задач (космический мусор, астероиды, гамма-всплески).

*Особое место в мониторинге ОКП* занимают службы контроля космического пространства РФ США, проводящие радиолокационные, лазерные, оптические наблюдения всех видов техногенных объектов в ОКП и их полную каталогизацию.



**Рис. 84. Распад кометы Швассмана-Вахмана 3**

Российский оптико-электронный комплекс обнаружения высокоорбитальных космических объектов «Окно» расположен на территории Таджикистана и предназначен для автономного обнаружения космических объектов на высотах 2.000 — 40.000 км, сбора по ним координатной и некоординатной (в основном, фотометрической) информации, расчета параметров движения и некоординатных признаков.

Следует отметить, что информация, получаемая средствами оптико-лазерных систем, конкурирует с данными радиолокационного мониторинга. Эти два средства мониторинга ОКП дополняют друг друга.

Характерно, что применительно к космическому мусору и аварийным космическим аппаратам, располагающимся на орбитах выше 3000-5000 км и, особенно, геостационарной, оптическая информация практически становится единственно доступной для целей мониторинга. Следует отметить, что современные методы фор-

мирования изображений с компенсацией турбулентности атмосферы уже дают возможность получать прямые детальные изображения космических объектов в видимой части спектра, а ИК-наблюдения резко повысили информативность, необходимую для распознавания объектов.

*Глубина исследования техногенного состояния ОКП на период начала XXI в разбита на пять уровней, от эпизодических наблюдений до полного мониторинга всех техногенных естественных объектов в ОКП.* Весьма важно, что полного мониторинга не достигает ни один из методов исследования естественного и техногенного загрязнения ОКП в отдельности.

*Близким к четвертому уровню,* то есть случаю достаточно систематическим исследованиям близки координатные измерения параметров орбит объектов в геостационарной зоне оптическими методами исследование фотометрических параметров искусственных космических объектов и обломков.

Периодическими исследованиями (*соответствующими третьему уровню*) являются радиолокационные измерения параметров орбит искусственных объектов и астероидов в ОКП, измерения положения объектов в ОКП при радиолокации в сантиметровом и миллиметровом диапазонах.

Таким образом, возможности современных наземных оптико-электронных и радиолокационных средств исследования ОКП используются не более чем на 40 % и глубина исследований не достигла самого высокого уровня – полного мониторинга всех техногенных и естественных объектов в ОКП.

Исходя из этого можно предположить, что достаточно высокие потенциальные возможности оптико-электронных систем для наблюдения объектов в ОКП не означают, что их использование должно идти до исчерпания технически возможных пределов.

Исследования пылевой составляющей вещества в ОКП весьма эффективны при изучении их воздействия на специальные мишени и датчики или характера эрозии поверхностей возвращаемых аппаратов. Поэтому реальным пределом геометрических размеров, изучаемых дистанционными средствами объектов будет тот, который соответствует частицам, способным разрушить мишень или вызвать разрушение, работающий космический аппарат. Исходя из оценки баллистического эффекта от соударения с частицей на ско-

рости 10 км/с и этому пределу соответствует характерный размер 0,1 см.

***Внеатмосферный мониторинг техногенного состояния ОКП только еще начинает развиваться.*** Внеатмосферные телескопы значительно выигрывают в чувствительности по сравнению с наземными, особенно в ИК-области спектра, вследствие поглощения и эмиссии этого излучения парами воды молекулами CO<sub>2</sub> атмосфере.

***Кроме того, при применении космических средств обнаружения ранее неизвестных фрагментов космического мусора позволяет:***

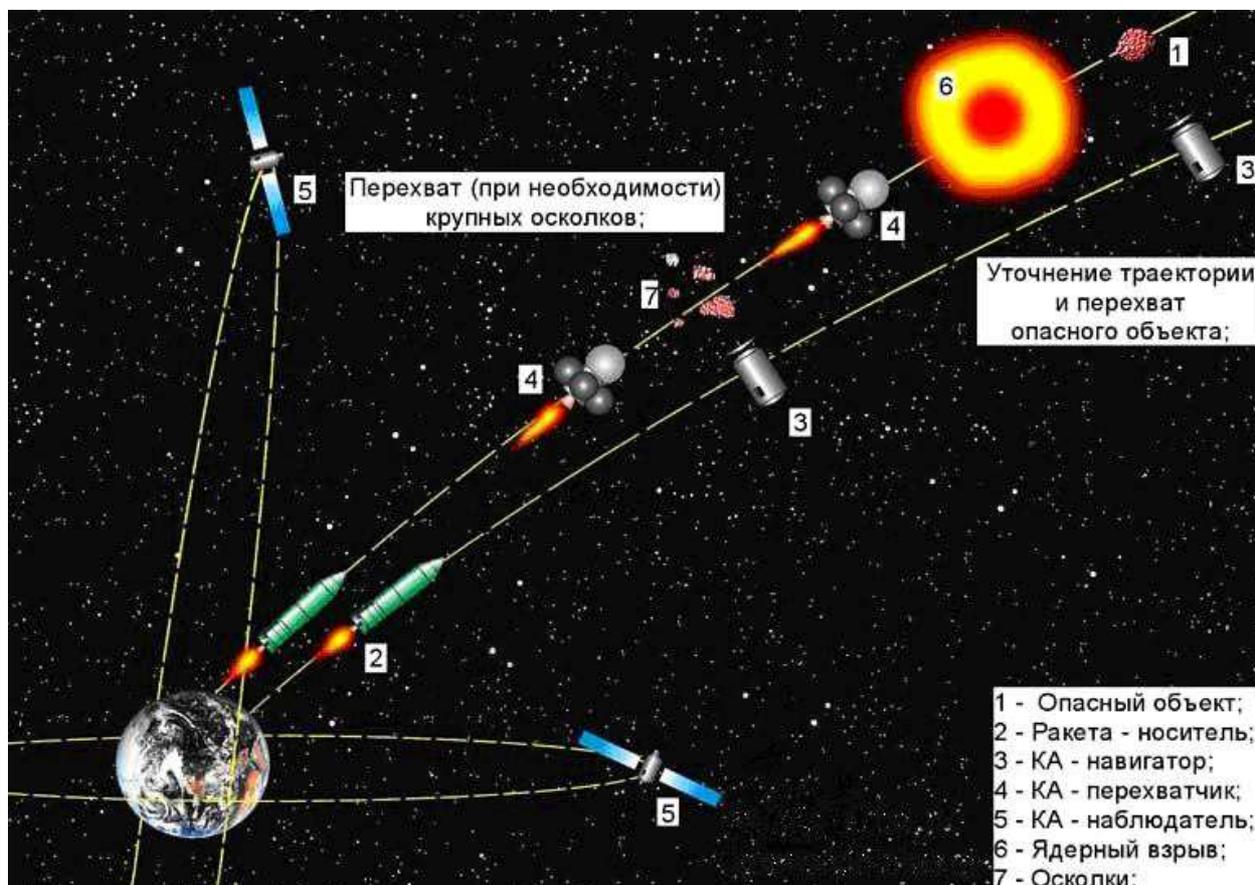
- уменьшить дальность наблюдения и, следовательно, обнаруживать фрагменты малого размера;
- проводить контроль параметров движения техногенного мусора в любое время суток, обеспечивая непрерывность мониторинга;
- обеспечивать в связи с этим решение задачи с помощью одного космического аппарата.

В связи с этим весьма интересен проект геостационарного радиационно-охлаждаемого телескопа на ГИСЗ «Электро» с целью мониторинга техногенного загрязнения геостационарных орбит. Этот проект позволит России сделать приоритетный вклад в решение проблемы создания системы защиты Земли.

***В рамках программы развертывания российского сегмента Международной космической станции было предложено провести эксперимент НОРТ*** – наблюдение околоземных объектов разнесенными телескопами. Одна из задач эксперимента – обеспечение безопасности полета МКС и контроль за техногенным и естественным мусором в районе его орбиты. За каждый виток вокруг Земли телескопы НОРТ охватывают более 20-25% площади небесной сферы, поэтому приоритет получаемых данных достаточно высок. Подобные эксперименты, имеющие характер постоянного мониторинга ОКП, в мировой практике ранее не выполнялись из космоса (рис. 85).

***Задачу мониторинга космического мусора с размерами, меньшими 0,1-1 см*** решают системы контактной регистрации ударов на основе специальных датчиков. Функционирование таких датчиков основывается, по крайней мере, на четырех физических явлениях (Логинов, Пирогова, 2000). Это механическое замыкание

двух расположенных один над другим электродов из металлической фольги, разделенных тонкой диэлектрической прокладкой, резкое увеличение электропроводности диэлектриков под действием развивающихся при ударе высоких давлений, пьезоэффект и быстрая деполяризация электрически поляризованных сред.

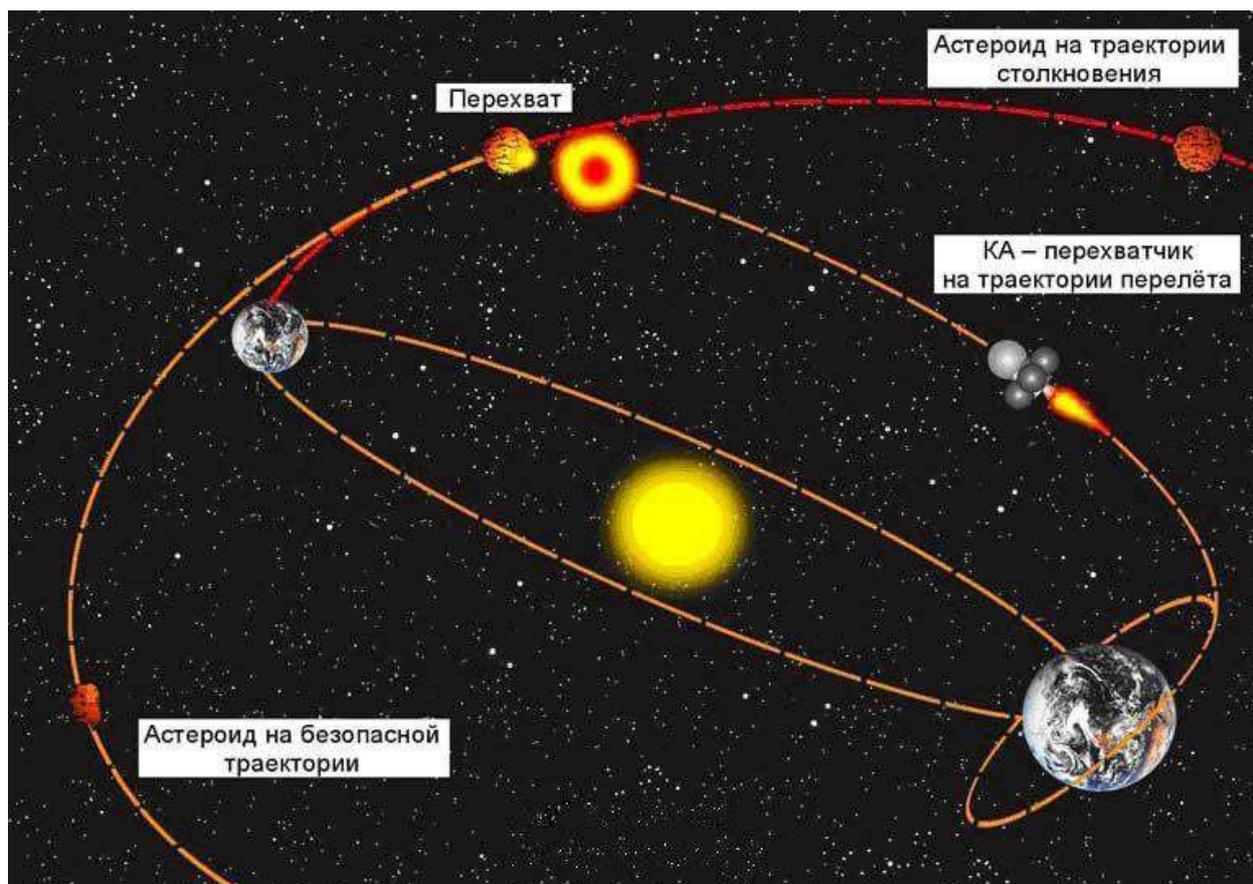


**Рис. 85. Эшелон краткосрочного реагирования для перехвата опасного объекта вблизи Земли**

Из этих явлений наиболее продуктивными являются два последних, так как они позволяют создать пленочные датчики генераторного типа, в которых электрический сигнал несет информацию о параметрах удара. Датчики на основе пьезокомпозиционных материалов способ реагировать на удар частиц размерами от долей миллиметра до сантиметра при скоростях соударения нескольких десятков метров в секунду. Подобные датчики в нашей стране устанавливались на ИСЗ орбитальных станциях «Салют» и «Мир», американских спутниках. Весьма эффективно с 1996 г. работает прибор GORID (Geostationary Impact Detector) Европейского космиче-

ского агентства на Российском геостационарном спутнике «Экспресс-2».

Для исследования плотности потока частиц космического мусора и степени воздействия его различные материалы в часто используют пассивные датчики. Находившийся в ОКП с 1984 по 1990 КА LDEF (Long Duration Exposure Facility) был со всех сторон обшит панелями из металлов и пластика, которые исследовались после возвращения его на Землю (рис. 86).



**Рис. 86. Эшелон долгосрочного реагирования, включающий как уничтожение опасного объекта, так и заблаговременное изменение его орбиты**

При изучении воздействия космического мусора на объекты в ОКП показано, что существует принципиальная возможность использования плоских СБ для измерения параметров частиц космического мусора. В соответствии с проведенными расчетами, скачкообразно и необратимо теряют от 0,1 до 0,5 % электрической мощности при ударах частиц, имеющих скорости выше 6-7 км/с и размеры  $dk > 0,03-0,04$  см. Поток таких частиц на низких и сред-

них орбитах при площади батарей  $S=50 \text{ м}^2$ , позволяет проводить измерения плотности потока частиц с точностью не хуже 30 % в течение 1/4 года.

*Таким образом, к началу XXI века сформировалась система мониторинга, позволяющая оценивать, как физическое состояние ОКП, так и загрязненность его естественными и техногенными отходами.*

На основании анализа технических возможностей различных средств контроля техногенного состояния ОКП выработана общая структурная схема осуществления техногенного мониторинга ОКП на современном уровне.

Основными источниками информации космических объектах, техногенном (и естественном) мусоре в ОКП, их отражательно-излучательных характеристиках являются радиолокационные, оптические, инфракрасные и лазерные средства наземного и космического базирования, а также датчики прямого соударения.

Результаты исследований накапливаются и систематизируются в автоматизированном банке данных о техногенном состоянии ОКП. В качестве базовой информации используются также результаты моделирования состояния ближнего космоса и процессов в нем.

В настоящее время из-за неопределённости государственной политики космических держав, а в ряде случаев отсутствия, требуемых международных правовых норм по исследованию и освоению космического пространства, происходит существенное техногенное загрязнение околоземного космического пространства (ОКП). Так, количество каталогизированных космических объектов (КО) уже превышает 17000, а количество ненаблюдаемых с Земли объектов ( $< 10 \text{ см}$ ), по некоторым оценкам, превышает 200000 (Коммерческий Центр Управления Полётами: <https://comsproc.com/>). На орбите все чаще происходят столкновения космических аппаратов с объектами космического мусора (КМ), т.е. с искусственными объектами, находящимися в ОКП и не функционирующими по прямому назначению. Первым подобным инцидентом стало столкновение отечественного спутника связи «Космос-2251» (на тот момент уже неактивного) и КА «Иридиум-33», использовавшегося для обеспечения спутниковой связи.

Кроме того, космический мусор принципиально изменяет околоземную среду, приводит к нарушению её первозданной чистоты. Астрономы уже заметили, что при выполнении астрономических

наблюдений, особенно с длительными экспозициями, мелкие фракции космического мусора снижают прозрачность космического пространства. Баланс свето-, и теплообмена нашей планеты с внешней средой также меняется в силу неуклонного роста засорённости околоземного пространства.

*Таким образом, возникает необходимость постоянного слежения за состоянием ОКП. Эта проблема, как и реализация любого мониторинга средствами дистанционного зондирования Земли, разбивается на три основные составляющие:*

- Обеспечение техническими средствами наблюдения, в данном случае средствами наблюдения за ОКП.
- Наличие систем приёма и обработки результатов наблюдения, вплоть до получения подробных изображений околоземного космического пространства в видимом диапазоне спектра и в фиксированной системе координат.
- Интерпретация и распространение данных проведённого анализа состояния ОКП.

Так как наибольшие финансовые затраты, как правило, связаны с созданием и эксплуатированием технических средств наблюдения, то на данный момент в этом качестве для мониторинга околоземного космического пространства не используются специально разработанные для этой цели системы, но приспособляются системы, основное назначение которых связано с наземным слежением за запусками космических аппаратов. Поэтому особое место уделяется системам моделирования космических объектов и явлений в ОКП на основе существующих средств наблюдения, а также разработке приложений для оказания в дальнейшем соответствующих услуг, таких как планирование размещения новых станций слежения (оптических и радиолокационных), оценка риска столкновения с объектами околоземного космического пространства, оценка возможности развертывания группировки спутников на заданных орбитах, расчет времени проведения съёмки участка земной поверхности спутником ДЗЗ с заданными параметрами съёмочной аппаратуры и другими задачами космической навигации и дистанционного зондирования.

В МИИГАиК ведется цикл работ по созданию геопортала и каталогизации объектов ОКП. Так, были проработаны вопросы создания системы, синтезирующей трёхмерные модели космических объектов на основе двумерных изображений целевого объекта,

входящей в состав комплекса программно-аппаратных средств для слежения за объектами космического пространства. С этой целью была развёрнута сеть распределённых вычислений на базе BOINC, которая предназначалась для геомоделирования, организации гео-порталов, а также расчётов движения космических объектов в ОКП на основании данных двухстрочных наборов элементов (TLE). Кроме того, на основании проведённого анализа и сформированных требований был создан прототип программного продукта, позволяющий визуализировать данные, характеризующие положение космических объектов, взятых из открытых источников, а также выводить на экран трёхмерные изображения КО.

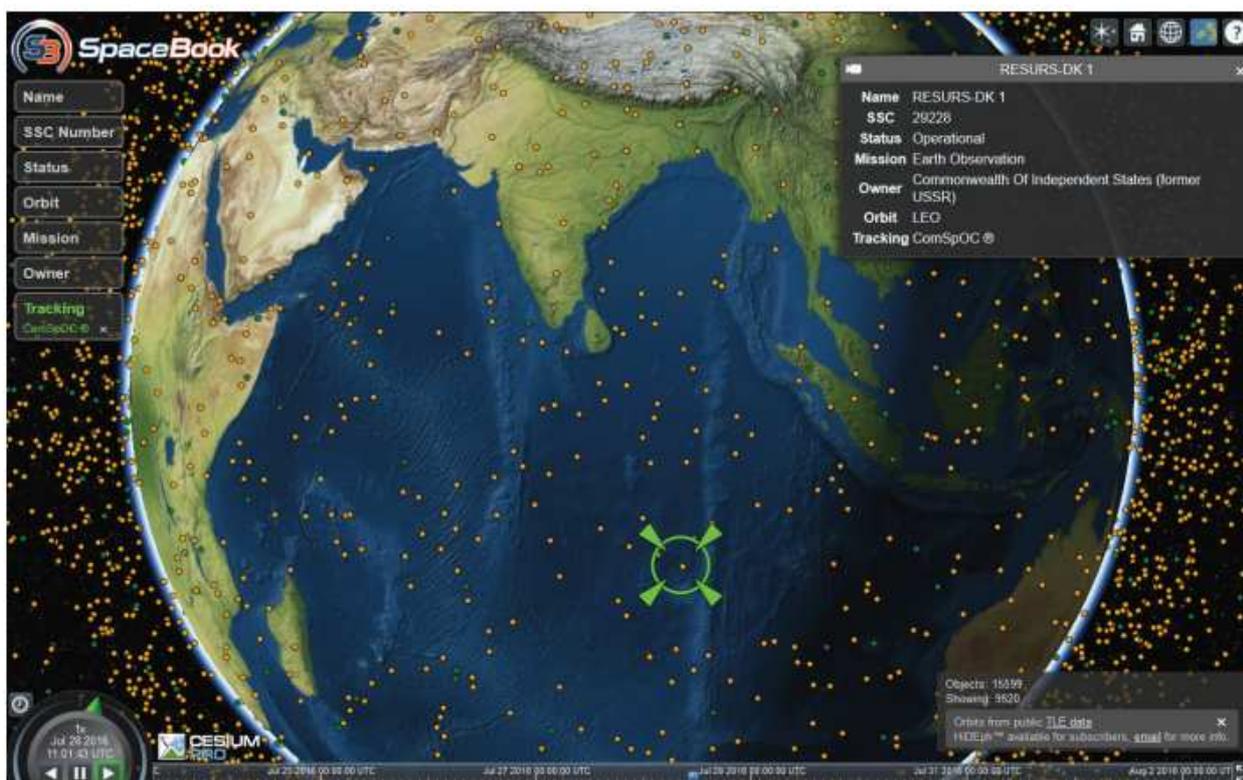
В связи с прекращением поддержки Google Earth API потребовалось переориентировать проект на новую программную платформу. *За основу была взята библиотека CesiumJS, имеющая ряд следующих преимуществ по сравнению с интерфейсом программирования приложений (API) от компании Google:* возможность работы на мобильных устройствах; отсутствие загружаемого плагина; технология WebGL, использующая аппаратные возможности графических процессоров, свободное коммерческое использование и др. При этом в качестве объекта сравнения был взят ГИС web-сервис SpaceBook (<http://apps.agi.com/SatelliteViewer/>). Данный сервис отображает положение более 9000 космических объектов, отслеживаемых с помощью оптических и радиолокационных станций слежения, и предвычисляет движение более 15000 объектов, занесённых в каталог NORAD, с помощью двухстрочных наборов элементов TLE (рис. 87). *Таким образом, появляется возможность осуществлять выборку объектов на основании следующих критериев:*

- Название объекта.
- Номер в каталоге NORAD.
- Статус активности.
- Тип орбиты.
- Функциональное назначение.
- Страна-владелец.

*К преимуществам данной системы относятся:*

- Максимально возможный охват КО.
- Использование проработанной и отлаженной графической оболочки.
- Удобный интерфейс.

- Развёртывание в виде сетевого ресурса на основе сервис-ориентированной архитектуры значительно уменьшает затраты на внедрение и поддержку. Однако важно отметить, что в общедоступной версии системы не представлены данные (в том числе и текущие координаты) и подробное описание характеристик космических объектов, а также нет возможности выявлять пересечения орбит КО и оценивать риск их столкновения.



**Рис. 87. Публичная демонстрационная версия ГИС web-сервиса SpaceBook. Изображение предоставлено компанией Analytical Graphics Inc. (URL: <http://apps.agi.com/SatelliteViewer/>)**

Рассмотрим базы данных (БД) космических объектов, известные из открытой печати и опубликованные в сети Интернет, и выполним их краткий анализ. Сравним их с сервисами, использующими для визуализации Google Earth API, Google Maps API и CesiumJS соответственно. Так, *БД и сервисы получают исходную информацию, в том числе данные для расчета орбитальных параметров и предварительные вычисления положения КО для последующей обработки, из открытых источников, таких как:*

- Сайт доктора Томаса Шона Келсо (<http://celestrak.com/>).

- Сайт Командования воздушно-космической обороны Северной Америки – NORAD (<https://www.space-track.org/>) – доступен только подписчикам.

- Сайт некоммерческого Союза Обеспокоенных Учёных (Union of Concerned Scientists, USA, <http://www.ucsusa.org/>).

- Сайт компании Analytical Graphics Inc. (<https://www.agi.com/>) – медиаданные доступны только подписчикам.

- На основе прочих несистемных источников.

**Заключение.** В настоящее время можно сделать вывод о том, что ни один из объектов сравнения не имеет в своём составе наиболее полный перечень данных о космических объектах (в частности, изменяющиеся ежесекундно орбитальные параметры, принадлежность объекта и его эффективную площадь рассеяния), которые необходимы пользователю в режиме, близком к реальному времени.

Тем не менее на основании проведённого анализа можно дать следующие предложения по облику перспективного отечественного программного комплекса для оказания услуг в области мониторинга ОКП, **в состав которого должен входить новый электронный каталог космических объектов:**

- Комплекс следует реализовать на основе геоинформационного web-сервиса.

- В качестве основы комплекса следует выбирать открытую библиотеку для визуализации положения космических объектов, использующую графический процессор (оптимальный выбор на сегодняшний день – CesiumJS).

- В состав комплекса необходимо включать существующие каталоги КО естественному и искусственному происхождению.

**В перечень функциональных возможностей комплекса должны входить:**

- мониторинг в режиме, близком к реальному времени;
- прогнозирование положения объектов;
- выдача данных о положении объекта на заданном интервале времени;

- выдача атрибутивных данных объекта;
- перевод координат положения объекта в общепринятые в России и за рубежом общеземные системы координат и отсчёта;

- выявление пересечения орбит КО и оценка риска их столкновения.

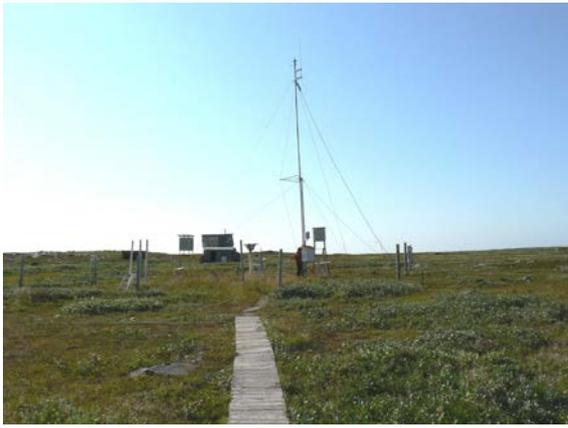
Естественно, необходимым условием полноценного функционирования данного комплекса является развёртывание глобальной системы оптического, радиолокационного (РЛС) и радиочастотного слежения за КО в ОКП, включающей наземные станции, а также средства космического базирования.

В заключение можно отметить, что подобные исследования неизбежно сталкиваются с рядом проблем нетехнического характера. Во-первых, у организаций, выполняющих работы по данному направлению, зачастую нет возможности обмениваться имеющимися данными и полученными результатами. Во-вторых, большинство организаций, работающих по космической тематике, ограничены административными барьерами, что не позволяет им осуществлять публикацию результатов собственных исследований. А это неминуемо сказывается на скорости достижения конкретного научного результата.

***Ученые считают, что основные технические трудности в реализации проекта могут быть следующими:***

- Невозможность слежения традиционными оптическими и радиолокационными средствами за космическими объектами, имеющими в поперечнике менее 10 см.
- Невозможность развёртывания единой глобальной наземной системы слежения за КО.
- Невозможность развёртывания орбитальной системы слежения из-за высокой стоимости, а также загруженности ОКП.
- Невозможность увеличения рабочей частоты станций РЛС до 30 ГГц и выше из-за колоссального энергопотребления, высокой стоимости эксплуатации и поглощения атмосферой радиоволн короче 1 см (хотя это и позволило бы обнаруживать частицы КМ до 1 мм на низких орбитах).
- Неточность двухстрочных наборов элементов (TLE) для прогнозирования движения КО и закрытость более точных данных и результатов наблюдений.

***Важным условием является развитие отечественных сервисов для мониторинга и контроля ОКП, реализующих широкий спектр возможностей геоинформационных технологий и функционирующих в режиме удалённого доступа к информационным ресурсам центров обработки данных наблюдений.***



## **6. МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ**

### **6.1. Состояние атмосферного воздуха в России**

На примере экологии России можно подробно рассмотреть взаимосвязь природы и людей, животных. Примечательно то, что почти половина населения страны проживает на территориях с неблагоприятно сложившейся экологической обстановкой. Состояние природы в стране сейчас переживает явно нелучшее время. На это влияет, прежде всего, губительная для нее деятельность человека.

Для западной части Евразии характерны равнины, поэтому именно туда могут беспрепятственно проникать воздушные массы, загрязненные серой и окисленным азотом, которые поступают из Западной и Центральной Европы. С увеличением количества автотранспорта самым влиятельным фактором загрязнения воздуха стали машины. Они также продолжают способствовать глобальному загрязнению почв. В свою очередь, нечистый воздух провоцирует возникновение детских, эндокринных и респираторных заболеваний. Одни из крупнейших городов страны: Москва, Санкт-Петербург и Екатеринбург — выступают в роли самых загрязненных из-за большой промышленной составляющей (рис. 88).



**Рис. 88. Смог в Москве в августе 2010 г.**

Однако основной экологической проблемой России принято считать бытовые отходы. Почти в центре Москвы можно заметить

скопления мусора, которые расположились на пожухлых газонах столицы. При том, что ежегодно их образуется несколько десятков миллионов тонн, в России утилизируется лишь 2-3 процента. Цифры кажутся настолько ничтожными, если сравнивать их с 60% в странах ЕС.

Из хорошего в экологии страны можно заметить, что в России достаточно большое количество заповедников и национальных парков, в которых вымирающие виды животных имеют возможность восстановить привычный рост популяции. Но наряду с этим вредит браконьерство, которое грозит вымиранию таких животных как амурский тигр, белый медведь и снежный барс. Несмотря на то, что государству не безразлично состояние природы, рассчитывать на нормализацию состояния экологии страны в ближайшее время не приходится. Применяемые меры в большинстве случаев являются недостаточно эффективными для того, чтобы дать ощутимый прогресс.

Россия прочно закрепила в *списке стран с плохой экологией*. Только в **15** крупных городах РФ атмосферный воздух соответствует санитарным нормам. Только **15 %** городского населения России дышит относительно чистым воздухом. В **125** городах РФ ежегодно фиксируются в **5–10** раз превышающие ПДК концентрации загрязнения атмосферы.

В число *самых грязных городов России* входят: Норильск, Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Новосибирск, Омск, Томск, Челябинск, Кемерово, Липецк, Новокузнецк, Магнитогорск, Нижний Тагил, Череповец. Во всех них отмечаются **10**-кратные превышения предельно допустимых концентраций минимум 3-х загрязнителей одновременно. При этом Норильск способен составить конкуренцию *самым грязным городам мира*: Мехико, Лос-Анджелесу, Афинам, Бомбею и Каиру. Однако необходимо учитывать, что в списки экологически неблагополучных принято включать только крупные города России, в то время как самыми грязными могут оказаться средние и даже малые города-заводы. Ведь **39%** городского населения РФ проживает на территориях, на которых степень загрязнения воздуха вообще не отслеживается (рис. 89).



**Рис. 89. Города России с напряженной экологической обстановкой**

В 206 российских городах с численностью населения более 65 млн человек среднегодовые концентрации одного или нескольких загрязнителей воздуха превышают ПДК. По 5–7 таких городов располагаются в Башкортостане, Красноярском крае, Ленинградской, Мурманской, Нижегородской, Новосибирской, Оренбургской, Ростовской, Самарской, Сахалинской, Свердловской и Челябинской областях, Приморском, Ставропольском краях и Ханты-Мансийском автономном округе. 9 из них находятся в Московской области и ещё 13 – в Иркутской. В 2006 г. в список российских городов с максимальным уровнем загрязнения воздуха попали следующие 36.

Существующая система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, реализованная в Росгидромете, обеспечивает регулярное измерение концентраций, основных загрязняющих веществ таких как взвешенные вещества, диоксид серы, диоксид и оксид азота, оксид углерода, и специфических загрязняющих веществ, характерных для отдельных территорий, в том числе бенза(а)пирена. Повышенные концентрации указанных загрязняющих веществ оказывают негативное влияние на здоровье человека и экосистемы. Некоторые из этих загрязняющих веществ также приводят к коррозии элементов технической инфраструктуры. Фотохимические реакции,

происходящие с участием оксидов азота и органических соединений, приводят к образованию озона в приземном слое атмосферы, который является одним из более токсичных газов.

Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в России проводились в *2015 г. в 249 городах, на 688 станциях, из них регулярные наблюдения Росгидромета выполнялись в 230 городах на 629 станциях.* (рис. 90, 91).

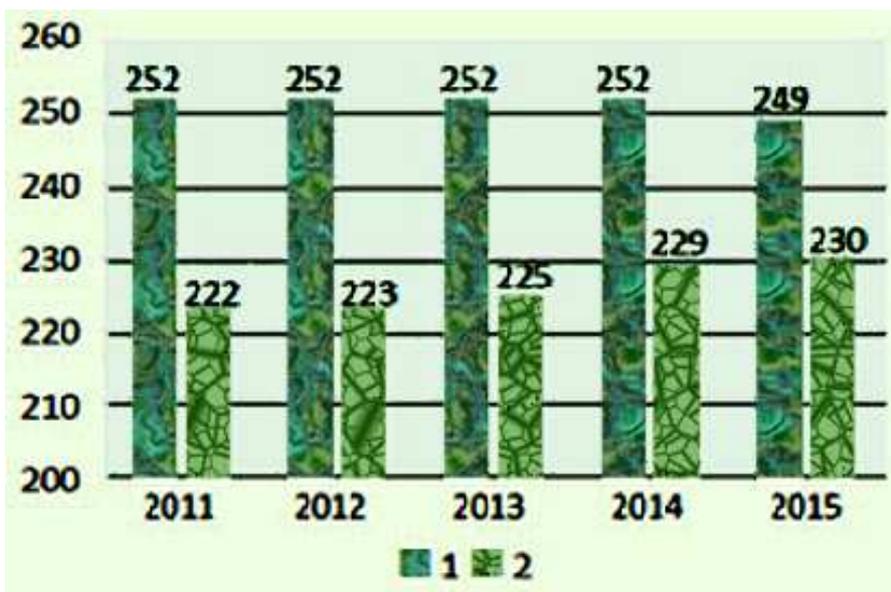


Рис. 90. Количество городов с наблюдениями за загрязнением воздуха (1), в т.ч. по сети Росгидромета (2) [17]

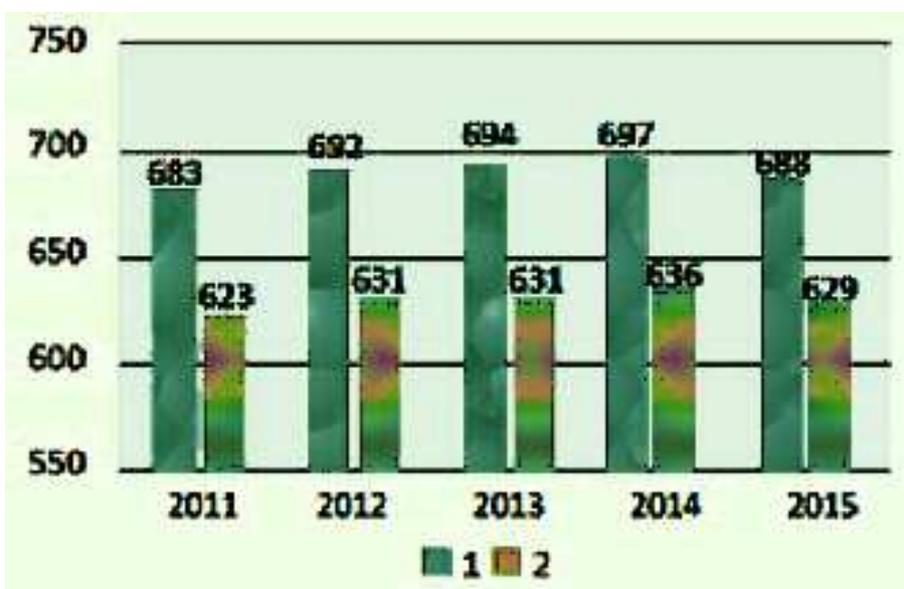


Рис. 91. Количество станций в городах с наблюдениями за загрязнением воздуха (1), в т.ч. по сети Росгидромета (2) [17]

Степень загрязнения атмосферного воздуха оценивали при сравнении фактических концентраций с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) загрязняющих веществ для населенных мест, устанавливаемых Главным санитарным врачом Российской

Федерации. Средние (суточные, годовые) концентрации загрязняющего вещества сравнивали с ПДК среднесуточными (ПДКс.с.) и среднегодовыми (ПДКгод), максимальные из разовых концентраций – с ПДК максимальными разовыми (ПДКм.р.).

Для оценки качества воздуха в соответствии с РД 52.04.667-2005 использовали:

– ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий среднегодовые концентрации нескольких примесей;

– СИ – стандартный индекс – наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДКм.р., определяемая из данных наблюдений на станции за одной примесью, или на всех станциях рассматриваемой территории за всеми примесями за месяц или за год;

– НП – наибольшая повторяемость (%) превышения ПДКм.р. по данным наблюдений за одной примесью на всех станциях города за год.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха считается повышенным при ИЗА от 5 до 6, СИ < 5, НП < 20%, высоким при ИЗА от 7 до 13, СИ от 5 до 10, НП от 20 до 50% и очень высоким при ИЗА равном или больше 14, СИ > 10, НП > 50%.

По данным регулярных наблюдений Росгидромета за период 2011-2015 гг. средние за год концентрации формальдегида не изменились, концентрации взвешенных веществ, диоксида азота, оксида азота, диоксида серы и оксида углерода снизились на 8-15%, бенз(а)пирена – на 35% (табл. 9).

Примесь	Количество городов	Тенденция изменений
Взвешенные вещества	204	-11
Диоксид азота	233	-8
Оксид азота	137	-8
Диоксид серы	230	-12
Оксид углерода	196	-15
Бенз(а)пирен	170	-35
Формальдегид	154	0

**Таблица 9. Тенденция изменений средних за год концентраций примесей в городах России за период 2011-2015 гг., % (по данным Росгидромета) [17]**

За пять лет количество городов, где средние за год концентрации какой-либо примеси превышают

1 ПДК, снизилось на 57, что обусловлено повышением Роспотребнадзором в 2014 г. значений ПДКс.с. формальдегида для воздуха

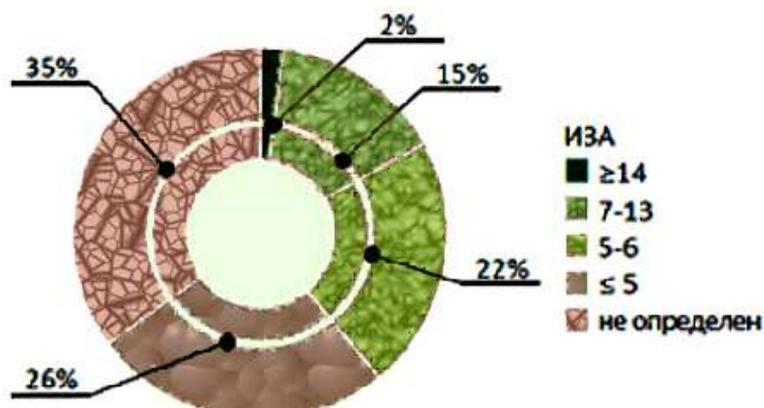
населенных пунктов более чем в 3 раза (ранее это значение ПДК использовалось для оценки воздуха в рабочей зоне) (табл. 10).

**Таблица 10. 36 российских городов с максимальным уровнем загрязнения воздуха [17]**

<b>Город</b>	<b>Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферы</b>
Балаково	Диоксид азота, бензпирен, сероуглерод, формальдегид
Благовещенск, Амурская область	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Братск	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота, фторид водорода, сероуглерод
Владимир	Бензпирен, формальдегид, взвешенные в-ва, фенол
Волгоград	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота, оксид азота, хлорид водорода
Волгодонск	Бензпирен, формальдегид
Волжский	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Восточный (пос.)	Аммиак, взвешенные в-ва, хлорид водорода, формальдегид, диоксид азота
Екатеринбург	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Зима	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Златоуст	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота, взвешенные в-ва
Иркутск	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота, взвешенные в-ва, оксид азота
Казань	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Калининград	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Комсомольск-на-Амуре	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота, взвешенные в-ва, фенол
Красноуральск	Бензпирен, формальдегид, фторид водорода, фенол
Курган	Бензпирен, формальдегид, сажа
Магадан	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота, фенол
Магнитогорск	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота, взвешенные в-ва
Набережные Челны	Бензпирен, формальдегид, фенол
Нерюнгри	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Нижнекамск	Бензпирен, формальдегид, фенол, взвешенные в-ва
Нижний Тагил	Бензпирен, формальдегид, фенол, аммиак, диоксид азота
Новокузнецк	Бензпирен, формальдегид, фенол, взвешенные в-ва, диоксид азота, фторид водорода
Норильск	Бензпирен, формальдегид, фенол
Первоуральск	Бензпирен, диоксид азота, фторид водорода, оксид азота, взвешенные в-ва
Рязань	Бензпирен, фенол
Саратов	Бензпирен, формальдегид, фенол, диоксид азота
Селенгинск	Бензпирен, формальдегид, фенол, сероуглерод, взвешенные в-ва
Сызрань	Бензпирен, формальдегид, сажа, диоксид азота
Томск	Бензпирен, формальдегид, диоксид азота
Тюмень	Бензпирен, формальдегид, взвешенные в-ва, диоксид азота
Улан-Удэ	Бензпирен, формальдегид, взвешенные в-ва, диоксид азота
Челябинск	Бензпирен, формальдегид, фторид водорода
Чита	Бензпирен, формальдегид, взвешенные в-ва, диоксид азота
Южно-Сахалинск	Бензпирен, формальдегид, взвешенные в-ва, диоксид азота, сажа

Если же учитывать прежние ПДК формальдегида, то количество городов, где средние концентрации какой-либо примеси превышают 1 ПДК, в 2015 г. составило бы 194 вместо 147, т.е. уменьшилось бы лишь на 10 городов за последние пять лет. Количество городов, в которых максимальные концентрации превышают 10 ПДК, за пять лет снизилось лишь на 1, а по сравнению с 2014 г. – на 10.

В городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха проживает 17,1млн человек, что составляет 17% городского населения России (рис. 92).



**Рис. 92.** Доля населения в городах с разным уровнем загрязнения атмосферы, определенным по ИЗА, % (по данным Росгидромета) [17]

На рисунке 93 показаны средние концентрации примесей в целом по городам России. Средняя за год концентрация сероуглерода выше ПДК в 1,3 раза, бенз(а)пирена – в 1,2 раза, концентрации других веществ не превышают 1 ПДК. Средняя концентрация формальдегида в 2015 г. составила 0,9 ПДКс.с, что в пересчете на прежний норматив составляет 3,0 ПДКс.с.



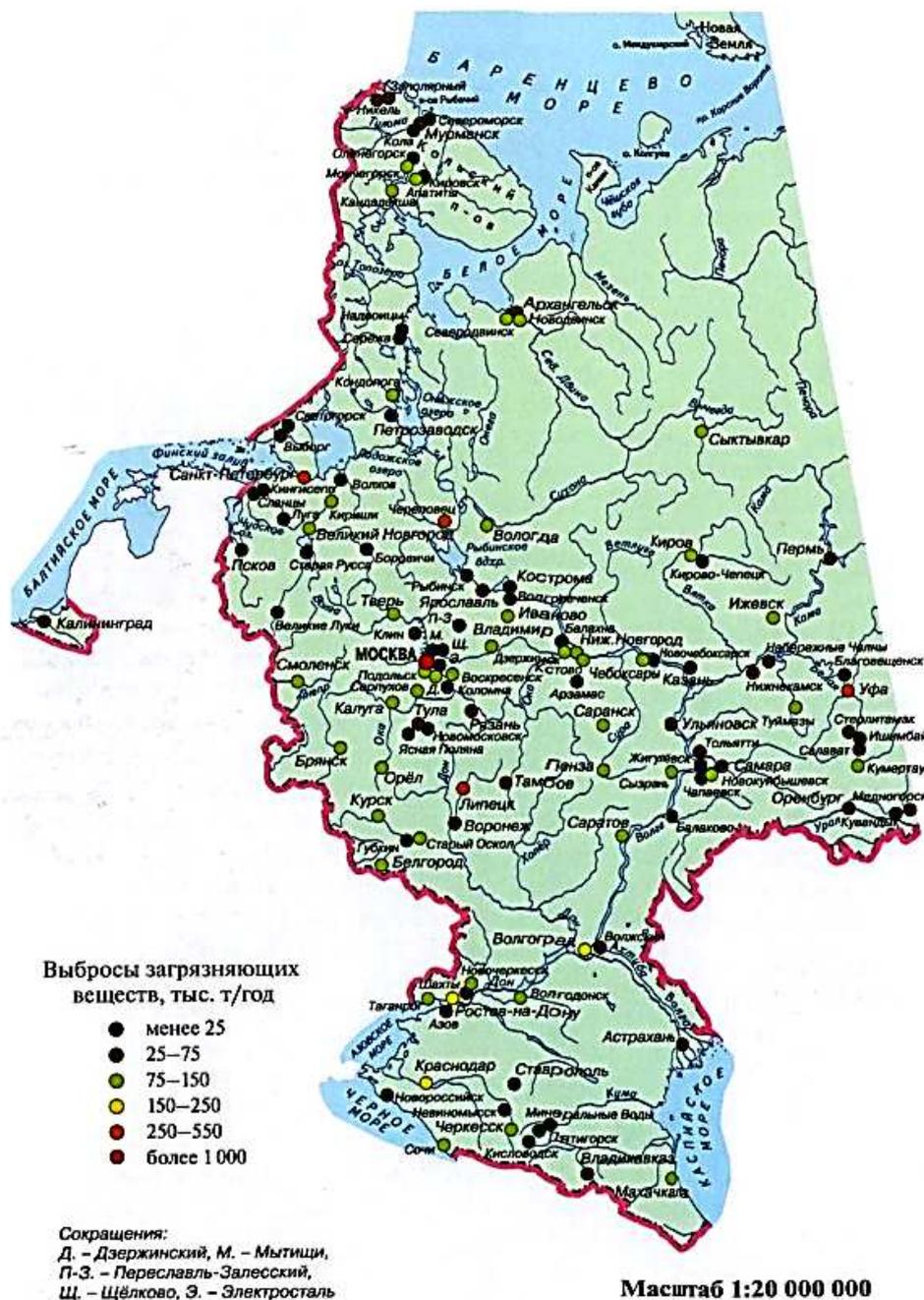
**Рис. 93.** Средние из максимальной концентрации примесей в городах России (по данным Росгидромета) [17]

Средняя концентрация фенола в 2015 г. составила 0,3 ПДКс.с., что в пересчете на прежний норматив составляет 0,7 ПДКс.с. (по постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 12 января 2015 г. № 3 «О внесении изменения в ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных

районов и местечек»).

мест» установлен новый гигиенический норматив среднесуточной концентрации фенола). Таким образом, несмотря на снижение содержания в воздухе населенных пунктов формальдегида и фенола, реальных изменений уровня загрязнения воздуха в городах России указанными загрязняющими веществами не происходит.

**Промышленное загрязнение воздуха в России.** Главным источником загрязнения атмосферы в России являются объекты промышленности. **27600** предприятий страны в совокупности содержат **1,183** млн стационарных источников выбросов (рис. 94).



**Рис. 94. Выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ в городах России**

По данным Росстата, они выпускают в воздух  $\frac{1}{4}$  часть всех загрязняющих веществ, образующихся в процессе производства. Причём **22%** выбросов с промышленных предприятий поступают в атмосферу без очистки. **78%** загрязняющих веществ попадают в очистные сооружения, где большая их часть улавливается и обезвреживается (**75%**).

Воздух российских городов с предприятиями алюминиевой промышленности, чёрной металлургии, химии и нефтехимии, добычи и транспортировки нефтепродуктов, с объектами топливно-энергетического комплекса загрязнён высокими концентрациями бензпирена, взвешенных частиц, диоксида азота, сероуглерода и формальдегида. Выбросы этих веществ распространяются на расстояние **от 2 до 30 км** вокруг стационарного источника. Наибольшая доля в выбросах парниковых газов принадлежит **углекислому газу ( $\text{CO}_2$ )**. Основным источником выделения, этого загрязняющего атмосферу вещества — это предприятия энергетики, сжигающие ископаемое топливо. Наибольшая площадь выпадений **оксидов серы** ( $500...750 \text{ мг/м}^2$  в год) приходится на Калининградскую и Ленинградскую области и регионы РФ в составе Центрального федерального округа, граничащие с Беларуссией и Украиной, а также на приграничные с Грузией территории Краснодарского края и Республики Дагестан (рис. 95).

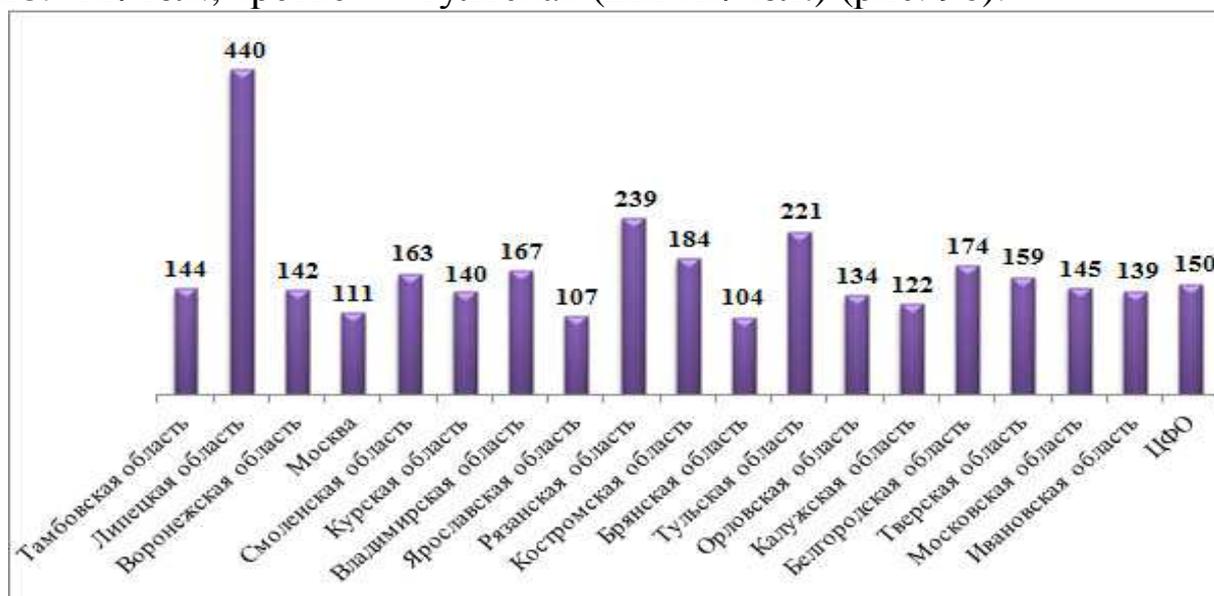


**Рис. 95. Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в расчете на одного жителя России, кг/чел.**

Основная доля выпадений **оксидов азота** ( $\text{NO}_x$ ) — 350...500 мг/м<sup>2</sup> в год — приходится на территории РФ в составе ЦФО, Калининградскую и Ростовскую области, а также на Краснодарский край.

Максимальная плотность выпадений **восстановленного азота** ( $\text{NH}_3$ ) наблюдается в Калининградской области, на приграничных с Грузией территориях Краснодарского и Ставропольского краёв, а также на приграничных с Казахстаном территориях Астраханской, Саратовской и Оренбургской областей. При этом наибольшая доля выпадений восстановленного азота отмечается на территории Брянской, Орловской, Курской, Воронежской и Липецкой областей, сопредельных с Украиной. Максимальная суммарная плотность выбросов на единицу площади фиксируется в Уральском, Центральном и Центрально-Чернозёмном экономических районах.

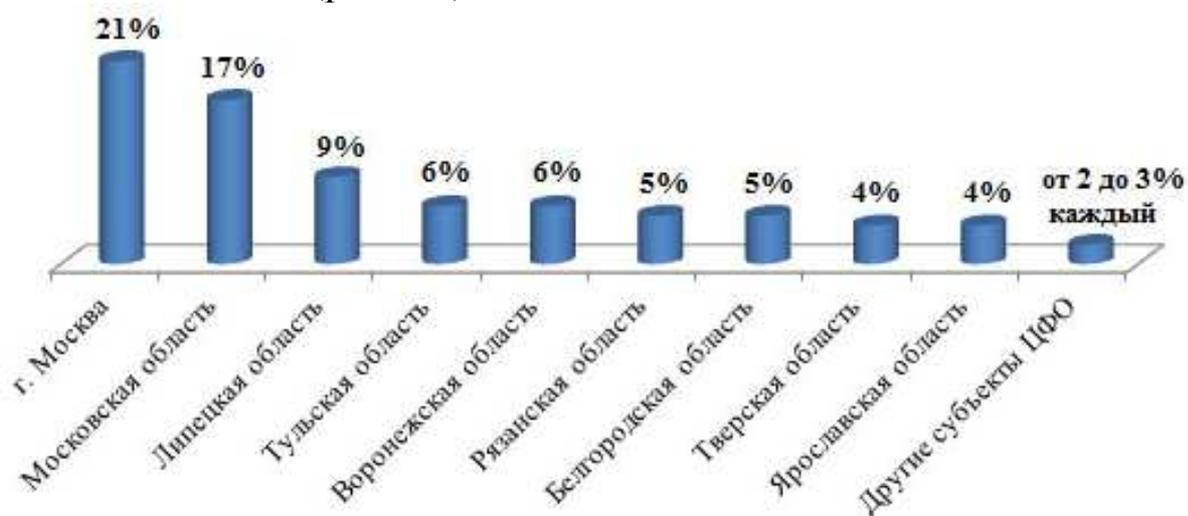
Безусловным аутсайдером Центрального федерального округа по загрязнению воздуха промышленными предприятиями является Липецкая область. На каждого жителя этого региона приходится по 440 кг загрязнителей атмосферы. С огромным отставанием второе место в этом чёрном списке занимает Рязанская область — 239 кг/чел., третье — Тульская (221 кг/чел.) (рис. 96).



**Рис. 96. Удельный объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на душу населения, кг/чел.**

Однако Липецкая область «лидирует» в ЦФО только по выбросам со стационарных источников. Первое же место

по суммарному загрязнению атмосферы (автотранспортом и промышленными предприятиями) занимают Москва и Московская область. Их доли по выбросам в атмосферу ЦФО составляют **21%** и **17%** соответственно. Незавидное второе место занимает Липецкая область с долей **9%**. Третье место негативного рейтинга делят Тульская и Воронежская области: их доли в загрязнении атмосферы Центрального федерального округа составляют по **6%** (рис. 97).



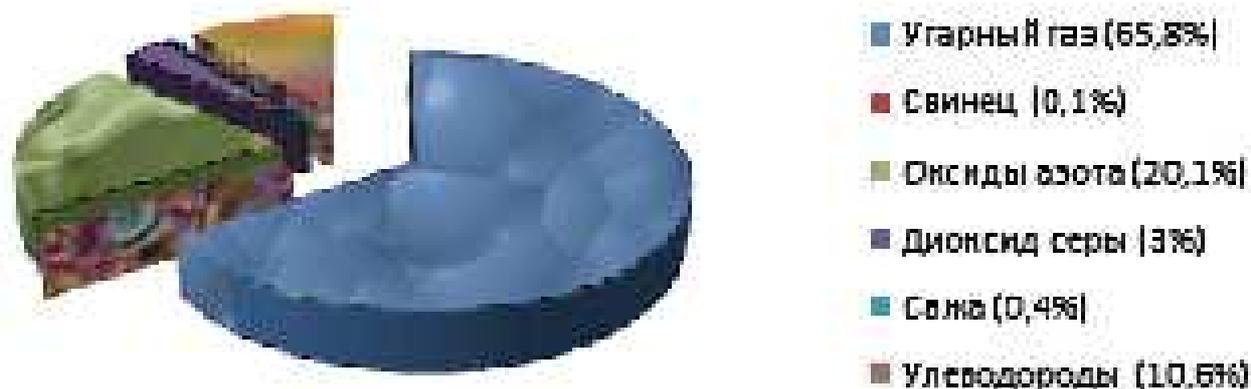
**Рис. 97. Распределение суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по Центральному федеральному округу, %**

При этом выбросы с промышленных предприятий загрязняют атмосферу Центрального федерального округа гораздо меньше, чем выхлопные газы автомобилей.

**Загрязнение воздуха автотранспортом.** Ежегодно воздух ЦФО отравляется **4 млн т** загрязнителей от автотранспорта и лишь **1,5 млн т** — от стационарных источников. К примеру, в Москве доля автомобильных выхлопов составляет **93%** от совокупных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Примерно такой же процент загрязнение автотранспортом имеет и в других мегаполисах России (Санкт-Петербурге, Краснодаре и т.д.). Та же доля в **80-90%** приходится на выхлопные газы в городах с менее развитой промышленностью: Нальчике, Якутске, Махачкале, Армавире, Элисте, Горно-Алтайске и т.д.

В целом по России «заслугой» автотранспорта является **42%** от всех выбросов в атмосферу. Слабое развитие сетей дорог и объектов дорожной инфраструктуры в мегаполисах, крайне низкая организация дорожного движения, неприемлемое качество до-

рожных покрытий, большое количество старых машин, отсутствие фильтров на выхлопных трубах — все эти факторы приводят к повышенному загрязнению воздуха в городах России. Машины с включенными двигателями часто останавливаются на светофорах, подолгу стоят в пробках — в результате воздух на прилегающих к дорогам территориях наполняется повышенными концентрациями вредных веществ. Люди, надышавшиеся им, приобретают проблемы со здоровьем (рис. 98).



**Рис. 98. Загрязняющие вещества в выхлопных газах автомобилей, %**

На городских дорогах в Краснодарском крае, Алтайском крае, Свердловской, Ростовской, Липецкой, Новосибирской, Тюменской, Кемеровской и других областях наблюдается серьёзное превышение ПДК по *оксидам азота, бензола, толуола* и прочих загрязняющих веществ. Практически во всех крупных городах России вблизи автомагистралей отмечается двукратное превышение предельно допустимой концентрации опасных для здоровья человека *кадмия, свинца и селена*. Также необходимо учитывать, что автомобили не только отравляют воздух своими выбросами, но и поднимают клубы пыли, изобилующие *кремнием, оксидом железа и барием*. Каждая машина рассеивает в атмосферу около **10 кг** резины.

В результате научно-технической революции, обусловившей резкий подъем промышленного производства, сотни тысяч химических соединений, созданных и используемых человеком, попадают в биосферу, загрязняя ее. Многие из них оказывают вредное воздействие на людей и животных, на почву, биоту, здания, памятники архитектуры и искусства. Некоторые из них вызывают гибель или тормозят рост растений, а при осаждении из атмосферного воздуха

(далее – АВ) всасываются с поверхности почвы их корнями, ухудшая тем самым качество овощей, фруктов и кормовые ресурсы животных и т.д.

## **6.2. Общая картина загрязнений атмосферного воздуха**

Проблема загрязнения воздушного бассейна мегаполисов в настоящее время крайне актуальна: атмосферный воздух является важным компонентом окружающей природной среды, без которого существование жизни на Земле невозможно.

*Атмосфера* представляет собой естественную смесь газов, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений, общей массой около  $5,15-5,30 \cdot 10^{15}$  тонн и имеет довольно четко выраженное слоистое строение:

1) тропосфера – наиболее плотный слой, прилегающий к земной поверхности. В ней развиваются различные физические процессы, которые в дальнейшем формируют климатические условия различных районов нашей планеты и определяют изменение погодных условий, ее мощность в средних широтах составляет 10-18 км;

2) стратосфера, которая располагается на высоте 17-48 км и концентрирует в себе основную часть атмосферного озона, поглощающего ультрафиолетовые лучи солнца. Характеризуется разреженностью, ничтожным содержанием влаги и постоянством температуры (около  $-50^{\circ}\text{C}$ );

3) мезосфера, начинающаяся на высоте более 50 км.

Природный химический состав АВ представлен четырьмя основными газами: азотом, кислородом, аргоном и парами воды, на долю которых приходится 99,96% всей массы (табл. 3). Практически все они содержатся в слоях атмосферы в одинаковых соотношениях.

На долю оставшихся 0,04 % приходится все многообразие громадного количества различных загрязняющих веществ (далее – ЗВ), которые в количестве не менее 10 млн. тонн постоянно находятся в АВ над планетой (табл. 11).

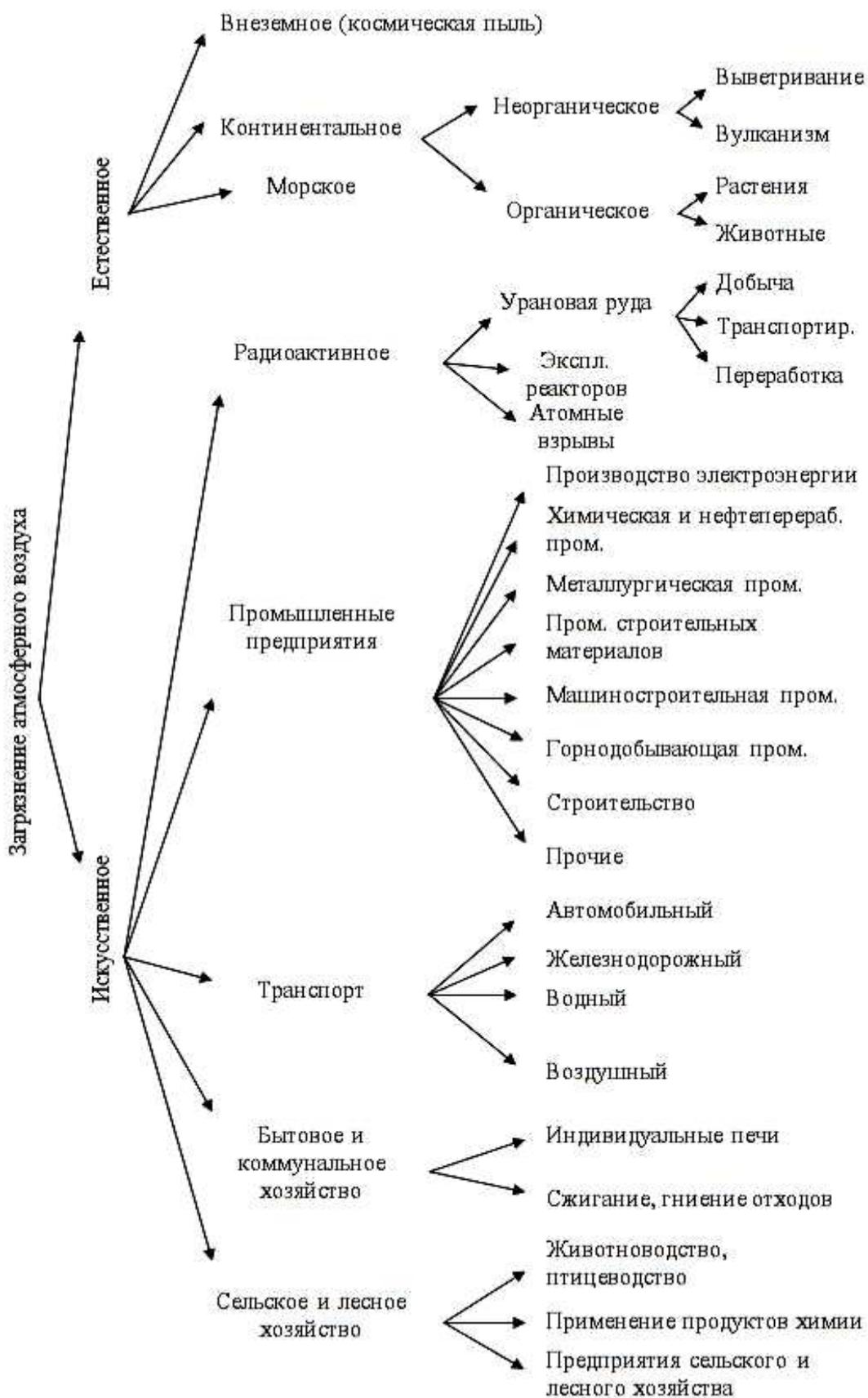
В соответствии с *Федеральным законом* от 4 мая 1999 года № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» под *ЗВ* понимается химическое соединение, содержащееся в АВ в такой концентрации, при которой оно оказывает вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, а под *загрязнением атмосферного воздуха* (ЗАВ) – поступление или образование в нем ЗВ в concentra-

циях, превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества.

**Таблица 11. Газовый состав атмосферы**

Газовый компонент	Общее содержание в сухом воздухе, %
Азот	78,09
Кислород	20,94
Вода (пары)	-
Аргон	0,93
<b>ИТОГО:</b>	<b>99,96</b>
Диоксид углерода	$3,14 \cdot 10^{-2}$
Неон	$1,818 \cdot 10^{-3}$
Гелий	$524 \cdot 10^{-6}$
Криптон	$114 \cdot 10^{-6}$
Водород	$50 \cdot 10^{-6}$
Ксенон	$8,7 \cdot 10^{-6}$
Озон	$2-7 \cdot 10^{-6}$

ЗАВ на территории мегаполисов и крупных промышленных городов возникает как от естественных процессов, протекающих в природе (рис. 99): космической пыли из межпланетного пространства; от вулканической деятельности (когда при извержении выбрасываются тысячи тонн пепла и HCl, HF, NH<sub>3</sub>, Cl, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S), от выветривания горных пород и эрозии, массового цветения растений, дыма от лесных и степных пожаров, от испарения мирового океана (мельчайшие брызги воды, поднимаясь над поверхностью моря или океана, довольно быстро испаряются, а растворенные в них соли кальция, магния, натрия, калия и других веществ попадают в АВ), но в основном формируется от интенсивной производственной деятельности человека, когда от всех ИЗА (*источник загрязнения атмосферы* – объект, распространяющий загрязняющие атмосферу вещества), расположенных на урбанизированной территории, в АВ выбрасываются различные ЗВ. При этом до 90% всех ЗВ выделяется от автомобильного транспорта, а остальное – из ИЗА промышленных предприятий:



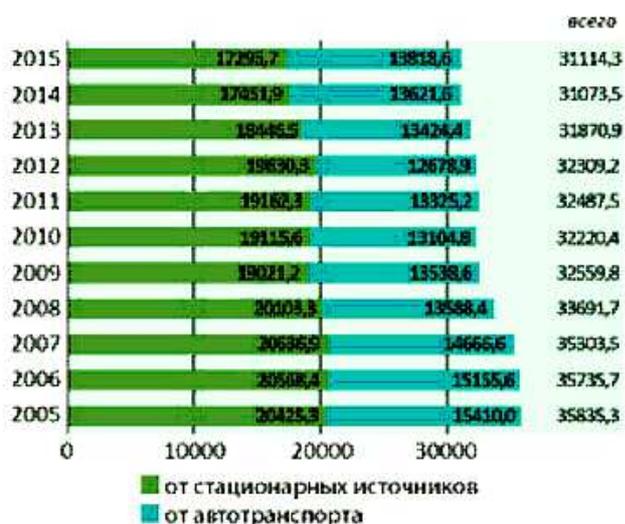
**Рис. 99. Классификация источников загрязнения атмосферного воздуха**

- теплоэнергетики (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные и др.), в процессе работы которых в атмосферу выбрасываются продукты как полного (диоксид углерода и пары воды), так и неполного (оксиды углерода, серы, азота, углеводороды и др.) сгорания твердого, жидкого или газообразного топлива. Так, современная теплоэлектростанция мощностью 2,4 млн. кВт, расходующая до 20 тыс. т угля в сутки, выбрасывает в атмосферу 680 тонн  $SO_2$  и  $SO_3$ , 120-140 тонн твердых частиц (зола, пыль, сажа) и 200 тонн оксидов азота.

- черной и цветной металлургии. Например, при выплавке одной тонны стали в атмосферу выбрасывается 0,04 тонн твердых частиц, 0,03 тонн оксидов серы и до 0,05 тонн оксида углерода, а также в небольших количествах такие опасные загрязнители, как марганец, свинец, фосфор, мышьяк, пары ртути, фенол, формальдегид, бензол и аммиак;

- химической промышленности, выбросы которых хотя и невелики по объему (около 2 % всех промышленных выбросов), тем не менее, ввиду своей весьма высокой токсичности, значительного разнообразия и концентрированности представляют значительную угрозу для человека и всей биоты. Интенсивное воздействие на атмосферу также оказывается при добыче и переработке минерального сырья, на нефте-, и газоперерабатывающих заводах, при выбросе пыли и газов из подземных горных выработок, при сжигании мусора и горении пород в отвалах. В сельских районах очагами загрязнения являются животноводческие и птицеводческие фермы, промышленные комплексы по производству мяса, распыление пестицидов и т. д.

Если посмотреть динамику изменения объемов выбросов за последние 10 лет, то видно, что за десятилетний период валовой выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух снизился на 13,2 % (4721 тыс. т), т.е. в среднем в год сокращался на 1,3 %. Объем выбросов от стационарных источников снижался более быстрыми темпами – 15,3 % (3130 тыс. т), т.е. в среднем в год сокращался на 1,5 %. Несмотря на то, что за десятилетие парк автомобилей в России почти удвоился, тем не менее, валовый объем выбросов от автотранспорта за этот период снизился на 10,3% (рис. 100).



**Рис. 100. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, тыс. т (по данным Росстата и Росприроднадзора) [17]**

Наибольшие объемы выбросов от стационарных источников в 2015 г. приходились на такие виды экономической деятельности как «обрабатывающие производства» (5968,6

тыс. т или 34,5% от всех выбросов от стационарных источников) и «добыча полезных ископаемых» (4754,7 тыс. т или 27,5%). В 2014 г. это соотношение практически не изменилось – на «обрабатывающие производства» приходилось 34,0%, а на «добычу полезных ископаемых» – 28,3%. Пять лет назад доля выбросов «обрабатывающих производств» составляла также 34,0%, а доля выбросов от вида деятельности «добыча полезных ископаемых» – 29,3%. За пятилетку объем выбросов предприятий по добыче полезных ископаемых сократился на 8,6%. Выбросы «обрабатывающих производств» сократились за пятилетку на 7,2% (рис. 101, табл. 12).



**Рис. 101. Распределение объема выбросов от стационарных источников по видам экономической деятельности, тыс. т (по данным Росстата) [17]**

Основной вклад в выбросы стационарных ИЗА вносили предприятия по добыче полезных ископаемых (28,5 %), производству и распределению электроэнергии, газа и воды (21,0 %) и транспорта и связи (12,0 %), а также металлургия и производство готовых металлических изделий (22,3 %). Остальное приходилось на сельское и лесное хозяйство, охоту, химическое и

целлюлозно-бумажное производства, производства пищевых продуктов (включая напитки) и табачных изделий, транспортных средств и оборудования, кокса и нефтепродуктов, прочих неметаллических минеральных продуктов, на издательскую и полиграфическую деятельность, обработку древесины и производства изделий из дерева, предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг.

**Таблица 12. Выбросы в АВ ЗВ, отходящих от стационарных ИЗА, по видам экономической деятельности, тыс. т**

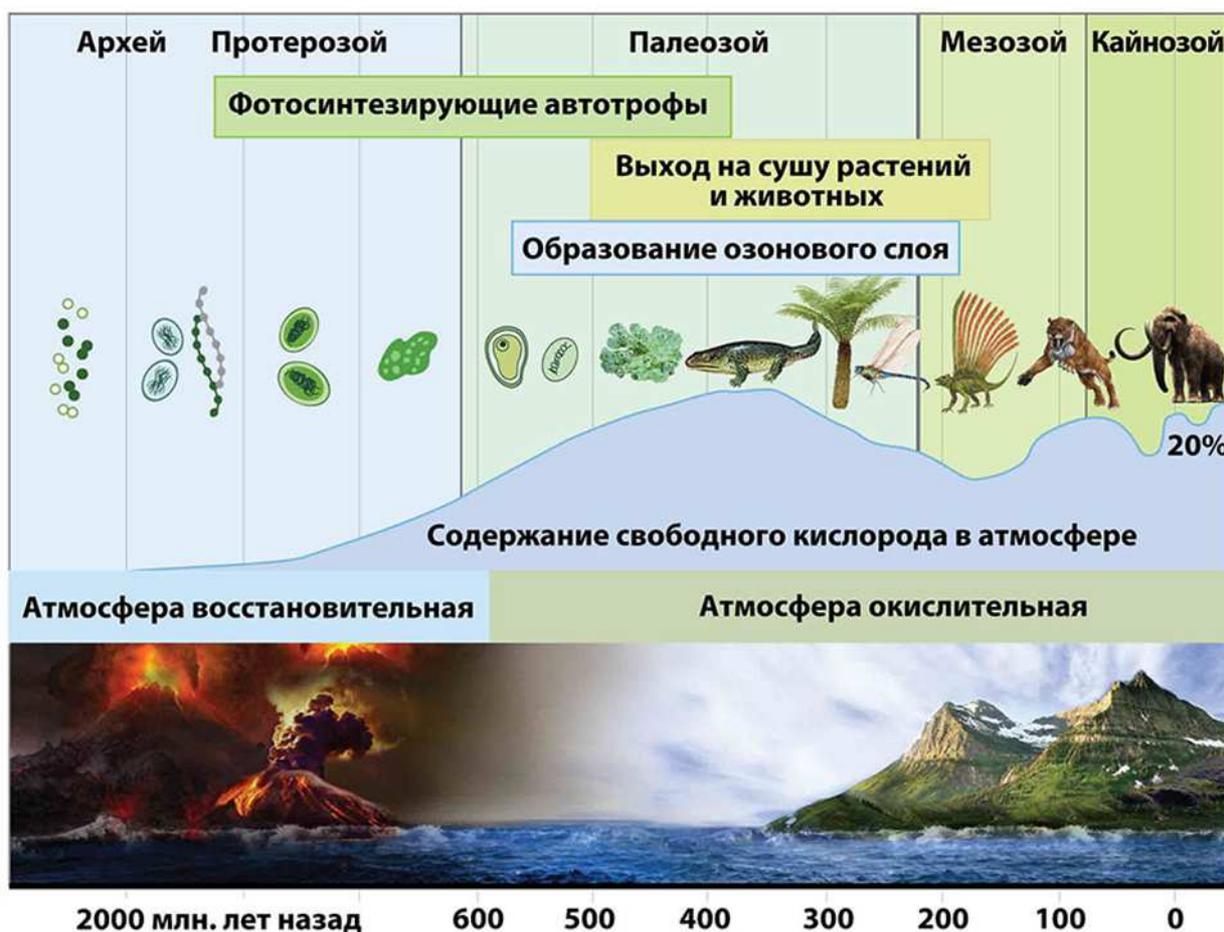
<b>Выброшено ЗВ</b>	<b>2009 г.</b>	<b>2010 г.</b>	<b>2011 г.</b>	<b>2012 г.</b>	<b>2013 г.</b>
<b>Всего</b>	<b>19021,2</b>	<b>19115,6</b>	<b>19162,3</b>	<b>19630,3</b>	<b>18446,5</b>
От добычи полезных ископаемых	5238,6	5200,3	5616,0	6128,4	5265,9
От производства и распределения электроэнергии, газа и воды	4140,7	4327,2	4071,2	4164,4	3868,7
От транспорта и связи	2605,9	2426,4	2248,0	2107,3	2219,9
От предоставления прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	89,9	108,0	166,1	232,0	263,0
От сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства	127,5	136,6	141,1	162,5	164,7
От обрабатывающего производства:	6353,5	6431,0	6523,1	6406,5	6218,8
В т. ч. от металлургического производства и производства готовых металлических изделий	4303,8	4289,2	4365,4	4262,2	4114,6
от производства кокса и нефтепродуктов	663,2	733,3	742,0	753,1	736,5
от производства прочих неметаллических минеральных продуктов	403,5	418,6	436,7	435,0	425,0
от химического производства	332,2	334,6	338,2	338,7	335,3
от производства пищевых продуктов, включая напитки, и табака	144,9	138,2	147,1	140,1	140,7
от целлюлозно-бумажного производства; издательской и полиграфической деятельности	152,5	145,1	129,7	128,5	129,6
от обработки древесины и производства изделий из дерева	78,3	84,2	82,9	86,9	86,3
от производства транспортных средств и оборудования	82,5	93,1	86,0	89,9	85,8

Атмосфера – это единое целое, не подразделяющееся на отдельные изолированные объемы (рис. 102). Она никогда не бывает абсолютно чистой: выбрасываемые в воздух загрязнители обычно содержатся в любой части города и варьируются лишь в концентрациях, значения которых формируются под влиянием сложного взаимодействия между природными и антропогенными факторами и при постоянных параметрах выбросов ИЗА зависят от следующих метеоусловий:

1) Распределения температуры с высотой, скорости и направления ветра, определяющих перенос и распространение примесей у земли и в приземном слое атмосферы.

2) Интенсивности солнечной радиации и влажности воздуха, определяющих фотохимические превращения примесей и возникновение вторичных продуктов загрязнения;

3) Количества и продолжительности атмосферных осадков, приводящих к вымыванию примесей.



**Рис. 102. Исторические периоды Земли в образовании атмосферы и живых организмов**

При переменных параметрах ИЗА рассеивающая способность атмосферы также определяется метеорологическими условиями, но проявляется по-разному. При низких и холодных выбросах (дымовые и вентиляционные трубы) вблизи источника концентрация ЗВ мала, она увеличивается на подветренной стороне и достигает максимума на некотором расстоянии от трубы в зависимости от скорости ветра. При высоких и горячих (трубы предприятий черной и цветной металлургии, некоторых химических производств, электростанций и т.д.) – распределение примесей зависит как от скорости и направления ветра, так и от вертикального распределения температуры воздуха:

- при слабом ветре концентрации примесей у земли уменьшаются за счет увеличения подъема факела и переноса примесей вверх;
- при сильном ветре начальный вертикальный подъем примесей уменьшается, но происходит возрастание скорости переноса примесей в горизонтальном направлении.

При этом максимальные концентрации ЗВ обычно наблюдаются при некоторой «опасной» скорости ветра, которая для мощного ИЗА с перегретыми дымовыми газами относительно окружающего АВ составляет 5-7 м/с, а для ИЗА с низкой температурой – всего 1-2 м/с.

Если температура с высотой падает, то летом в дневное время создаются условия для интенсивного турбулентного обмена, что приводит к возникновению в нижнем приземном слое АВ значительных концентраций ЗВ, колеблющихся во времени и поступающих от высотных ИЗА. Если в приземном слое воздуха температура с высотой растет (условия инверсии температуры), то рассеивание примесей ослабевает. В случае мощных и длительных инверсий при низких неорганизованных выбросах (выбросы от автотранспорта и др.) концентрации примесей могут существенно возрастать.

В случае приподнятых инверсий концентрации ЗВ зависят от высоты расположения источника по отношению к нижней ее границе: если ИЗА расположен выше, то примесь поступает к земной поверхности в небольших количествах, если ниже – то основная часть примесей концентрируется вблизи поверхности земли.

Солнечная радиация влияет на фотохимические реакции в атмосфере и формирует различные вторичные продукты, обладающие часто весьма токсичными свойствами. Так, в городах с развитым

автомобильным движением в ясные солнечные дни создаются условия взаимного превращения  $\text{NO}_2$  в  $\text{NO}$  с образованием озона, что способствует развитию фотохимического смога.

При туманах концентрации примесей могут сильно увеличиться за счет приземной инверсии и повышенной влажности воздуха. С туманами часто связаны зимние смоги, при которых в течение длительного времени высокие концентрации вредных примесей удерживаются в приземном слое воздуха.

На рассеивание примесей в условиях города также существенно влияют высота зданий, планировка улиц, их ширина и направление. В крупных городах при длительных прояснениях погоды (антициклональный тип погоды) нередко формируется городской «остров тепла» со своей структурой циркуляции атмосферы, когда образуется устойчивый поток воздуха к центру такого острова, и все вредные примеси сосредотачиваются в обширной, образовавшейся за несколько дней, области «острова тепла». Такие условия нередко создаются в зимнее время в промышленных городах, особенно в Сибири.

Естественные топографические условия в городе также являются важными факторами, определяющими «климат» качества АВ. В условиях пересеченной местности на наветренных склонах возникают восходящие, а на подветренных – нисходящие движения, над водоемами летом – нисходящие, а в прибрежных районах – восходящие движения. При нисходящих потоках приземные концентрации увеличиваются, при восходящих – уменьшаются. В некоторых формах рельефа, например, в котловинах, где ведутся разработки или вблизи находится низкий источник выбросов, воздух застаивается, что приводит к накоплению примесей вблизи подстилающей поверхности. В холмистой местности максимумы приземной концентрации примесей обычно больше, чем при относительно ровном рельефе.

Загрязнение атмосферного воздуха воздействует на здоровье человека и на окружающую природную среду различными способами – от прямой и немедленной угрозы (смог и др.) до медленного и постепенного разрушения различных систем жизнеобеспечения организма (рис. 103).

Сначала рассмотрим, как влияет на окружающую природную среду локальное (местное) загрязнение атмосферы, которое, в первую очередь, приводит к изменению микроклимата, проявляющее-

ся в нарушении термической однородности по всей территории города, в результате чего температура в центральных его районах повышается на 1-5 °С по сравнению с окрестностями.



**Рис. 103. Основные источники выбросов в атмосферу CO<sub>2</sub>**

Это явление чаще всего связывают с многообразием форм городской застройки и особенностью планировки, поскольку каменные здания, асфальтовые и другие искусственные покрытия являются своеобразными аккумуляторами тепла (температура подобных поверхностей в Москве местами достигает 52 °С, в Ереване – 65-70 °С, Одессе – 73 °С, в Ташкенте – 80 °С). Они поглощают солнечную энергию днем и медленно остывают ночью, отдавая тепло атмосфере. Наличие таких «островов тепла» приводит в городах к образованию приземного инверсионного слоя, где в двадцатиметровой прослойке наблюдаются повышенное содержание загрязняющих веществ.

Помимо неоднородности температурного режима на урбанизированных территориях отмечается значительное изменение влажности воздуха, увеличение которой приводит к росту концентраций большинства загрязняющих веществ, к их физико-химической (в

первую очередь, фотохимической) трансформации и образованию смогов, вызывающих удушье, приступы бронхиальной астмы, аллергические реакции, раздражение глаз и др. острые и хронические заболевания. Известны два типа смога:

- **Лондонский.** Это «первичное» загрязнение городской атмосферы за счет сжигания в больших количествах угля для бытовых нужд, что практически при отсутствии ветра и мощного тумана приводит к образованию высоких концентраций дыма (сажевого аэрозоля) и капель серной кислоты (за счет растворения диоксида серы в каплях тумана). Условия образования этого типа смога: температура воздуха на уровне  $-1 \dots +4$  °С, относительная влажность 85 %, безветрие.

- **Лос-Анджелесский.** Это «вторичное» загрязнение воздушной среды города за счет фотохимических реакций, приводящих при интенсивной солнечной радиации к образованию в атмосфере  $O_3$ , NO,  $NO_2$ , CO, а также целого ряда органических загрязнений. Условия образования этого типа смога: температура воздуха на уровне  $+24 \dots +32$  °С, относительная влажность  $<70$  %, скорость ветра менее 3 м/с.

Однако в учебном пособии авторы выделяют третий тип смога – **российский**, который отличается тем, что он является суперпозицией двух первых типов: в атмосферном воздухе присутствуют вещества, относящиеся к «первичному» и «вторичному» загрязнению как за счет собственных внутригородских промышленных и автотранспортных выбросов, так и внешних продуктов горения торфяников (зола, сажа, газообразных органических и неорганических веществ), поступающих воздушными потоками из окружающих лесных массивов. Условия образования этого типа смога: температура от  $+23$  до  $+28$  °С, относительная влажность воздуха – менее 70 %, слабый ветер, направленный на городские территории (например, в Москве такой тип смога наблюдался осенью 2005, 2008, 2010 г.).

Вообще ветер в условиях урбанизированных территорий является основным параметром, влияющим на уровень загрязнения атмосферного воздуха. Обычно скорость ветра в городской черте в 1,5-2 раза ниже, чем в пригородах, хотя и наблюдаются так называемые «коридорные ветры», не совпадающие с направлениями естественных воздушных потоков. Узкие улицы и высокие здания препятствуют рассеиванию промышленных и автотранспортных выбросов,

способствуя тем самым образованию на локальных территориях (особенно в местах массовой жилой застройки) застойных зон с высоким уровнем содержания вредных веществ.

Главным же последствием локального загрязнения атмосферного воздуха является неблагоприятное влияние на здоровье людей. Дыхательная система человека имеет ряд механизмов, помогающих защитить организм от воздействия загрязненного воздуха. Однако воздействие вредных веществ может перегрузить или разрушить эти естественные защитные механизмы, вызвав множество болезней дыхательной системы, таких как рак легких, хронические бронхиты и эмфизема легких, или способствует развитию этих болезней. В периоды, когда уровень загрязнения достигает максимума, многие люди жалуются на головные боли, раздражения глаз и носоглотки, тошноту и общее плохое самочувствие (рис. 104).



**Рис. 104. Процесс разрушения окружающей среды**

Например, как отмечается повышенное содержание в атмосферном воздухе паров серной кислоты чаще всего связывают с учащением приступов астмы, а из-за угарного газа возникают ослабление мыслительной деятельности, сонливость и головные боли. С высокими содержаниями аэрозолей, действующими в течение длительного времени, связывают респираторные заболевания, а тяжелые металлы даже в «следовых» количествах являются причиной рака.

Другим проявлением местного загрязнения воздуха является его влияние на растительность и различные материалы. Растения гораздо чувствительнее к загрязненному воздуху, чем люди. Это касается как сельскохозяйственных культур, так и дикорастущих видов. Постоянное воздействие вредных веществ препятствует фотосинтезу и росту растений, поглощению питательных веществ и приводит к тому, что листья или хвоя желтеют и опадают. В чистом воздухе растения вырастают значительно крупнее, что говорит о том, что высокий уровень загрязнения подавляет их рост без очевидных признаков повреждений или отклонения от нормы.

При повышенном содержании различных «взвесей» в атмосферном воздухе стены, окна и другие поверхности становятся серыми и грязными, краски и облицовочные материалы быстрее стареют. Без соответствующего ухода и покраски такие материалы, как железо и сталь, используемые для изготовления железнодорожных рельсов, опор мостов и эстакад, корродируют и теряют прочность. Различные загрязнители воздуха ухудшают качество кожи, резины, бумаги, краски и ткани, особенно ткани из хлопка, вискозы и нейлона. К важнейшим экологическим последствиям глобального загрязнения атмосферы относятся:

**1. Разрушение озонового слоя Земли.** Толщина озонового слоя, защищающего поверхность Земли от агрессивного воздействия ультрафиолетового излучения, под воздействием вредных выбросов промышленных предприятий уменьшается над отдельными территориями (и даже континентами), что в итоге отражается на здоровье населения. В соответствии с официальными данными ООН, сокращение озонового слоя на 1% означает появление во всем мире 100 тыс. новых случаев катаракты глаз и 10 тыс. случаев рака. С этим явлением связывают и рост легочных, иммунных, аллергических и других заболеваний. Кроме этого, уменьшение в атмосфере озона приводит к усилению «парникового эффекта», снижению урожайности и деградации почвы. Напомним, что основными вредными веществами, разрушающими озоновый слой Земли, являются атомы хлора и фтора, выделяющиеся при разрушении хлорфторуглеродов (фреонов).

**2. Кислотные осадки.** Кислотными называют любые осадки – дожди, туманы, снег, для которых водородный показатель  $pH < 5,6$ . Химический анализ кислотных осадков показал, что их кислотность на две трети обусловлена серной кислотой и на одну треть

азотной. К наиболее важным соединениям серы, находящимся в атмосфере и определяющим кислотность, относятся диоксид серы, сероуглерод, сероводород и диметилсульфид. К наиболее важным соединениям азота относятся: оксиды азота, аммиак, азотная кислота. Согласно данным об общих объемах выбросов диоксида серы и оксидов азота из разных источников, кислотные осадки связаны в первую очередь с работой тепловых электростанций, транспорта и промышленных предприятий.

**3. Глобальное потепление.** Световая энергия, проникающая сквозь атмосферу, поглощается поверхностью Земли, преобразуется в тепловую энергию и выделяется в виде инфракрасного излучения. Однако углекислый газ и некоторые другие газы, называемые парниковыми (метан, хлорфторуглероды, оксид азота), в отличие от других природных компонентов атмосферы, вторично поглощают инфракрасное излучение земной поверхности, нагреваются и в свою очередь нагревают атмосферу в целом. Следовательно, чем больше в ней парниковых газов, тем теплее она становится. Быстрому росту концентрации углекислого газа в атмосфере способствуют уничтожение лесов и все большее использование ископаемого топлива. В результате концентрация углекислого газа в атмосфере к настоящему времени достигла 0,035%, а к 2060-2080 гг. может увеличиться в 2 раза. При этом может произойти повышение средней глобальной температуры приземной атмосферы примерно от 1,5 до 4,5 °С, что вызовет подъем уровня океана по разным оценкам от 0,3 до 1 м. Другие парниковые газы (метан, хлорфторуглероды и оксиды азота) поглощают инфракрасное излучение в 50-100 раз интенсивнее, чем углекислый газ, однако в атмосфере их содержится значительно меньше, и влияние их как следствие незначительное.

### **6.3. Состояние атмосферы**

Атмосфера (от греч.  $\alpha\tau\mu\acute{o}\varsigma$  – пар и  $\sigma\phi\alpha\iota\rho\alpha$  – шар) – это газовая оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли. Общая масса атмосферы составляет  $5,15 \cdot 10^{15}$  т.

#### **Состав атмосферы (об. %):**

Азот	–	78,084,
Кислород	–	20,964,
Аргон	–	0,934,
Углекислый газ	–	0,034,
Неон	–	0,0018,

Гелий	–	0,000524,
Криптон	–	0,000114,
Водород	–	0,00005,
Водяной пар	–	0,2 в полярных широтах, – 2,6 у экватора,
Озон	–	0,001 – 0,0001 в стратосфере, – 0,000001 в тропосфере,
Метан и др.	–	0,00016

**Строение атмосферы.** Атмосфера подразделяется на слои в соответствии с их высотой и температурой. Самый близкий к поверхности Земли слой до высоты 8–10 км в полярных и 16–18 км в тропических широтах называется **тропосферой**. Тропосфера содержит 80 % всей массы атмосферного воздуха, ~90 % имеющегося в атмосфере водяного пара. В тропосфере происходят глобальные перемещения воздушных масс, во многом определяющие круговорот воды, теплообмен, трансграничный перенос пылевых частиц и загрязнений. С увеличением высоты температура понижается до –60 °С и более. Выше располагается **стратосфера**, верхняя граница которой соответствует высоте 50–55 км. В стратосфере сконцентрирована основная часть атмосферного озона. Озон поглощает ультрафиолетовые лучи Солнца, что вызывает разогрев стратосферы: температура в этом слое сначала остается постоянной, а затем начинает повышаться с высотой и достигает 0 °С (10 °С над экватором). На высоте более 50 км начинается **мезосфера** – зона, где температура опять понижается до –80 °С и более. Основным энергетическим процессом здесь является лучистый теплообмен. Сложные фотохимические процессы с участием свободных радикалов, колебательно возбуждённых молекул обуславливают свечение атмосферы. На высоте от 80 и до 800 км над земной поверхностью расположена **термосфера (ионосфера)**. В этой области температура вновь увеличивается с высотой и достигает положительных значений. Под действием ультрафиолетовой и рентгеновской солнечной радиации, и космического излучения происходит ионизация воздуха – «полярные сияния». Самая верхняя часть атмосферы – **экзосфера** – внешний слой атмосферы, из которого быстро движущиеся лёгкие атомы водорода могут вылетать в космическое пространство.

**Тропосфера, как составная часть биосферы.** Атмосфера является составной частью биосферы и представляет собой газообразную оболочку Земли, вращающуюся вместе с ней как единое целое. Эта оболочка слоиста. Каждый слой имеет свое название и характерные физико-химические особенности. Условно принято атмосферу делить на две большие составные части:

- верхнюю;
- нижнюю.

Наибольший интерес представляет для нас нижняя часть атмосферы, главным образом тропосфера, поскольку в ней происходят основные метеорологические явления, влияющие на загрязнение атмосферного воздуха.

В тропосфере находится большая часть космической и антропогенной пыли, водяного пара, азота, кислорода и инертных газов. Она практически прозрачна для проходящей через нее коротковолновой солнечной радиации. Вместе с тем содержащиеся в ней водяной пар, углекислота и озон (коротковолновые излучения) довольно сильно поглощают тепловое (длинноволновое) излучение нашей планеты, в результате чего тропосфера нагревается. Это нагревание является причиной вертикального перемещения потоков воздуха, конденсации водяного пара, образования облаков и выпадения осадков.

Установлено, что в тропосфере температура падает на (0,5-0,6) °С на каждые 100 м высоты. Распределение температур в приземном слое атмосферы является важнейшей причиной формирования климата и его характеристик. Состав газов нижней части атмосферы неизменный: смесь, образуемая газами, называется воздухом. Состав сухого атмосферного воздуха приведен в таблице 13.

В таблице 14 приведена необходимая информация о массовом выделении в атмосферу некоторых газообразных веществ антропогенными и природными источниками.

Согласно приведенной таблицы, природные источники выделяют больше вредных веществ, тем не менее, самым опасным является антропогенное поступление. Это связано с тем, что вредные вещества антропогенного происхождения накапливаются в зоне обитания человека. Кроме того, специфические вредные вещества, не существовавшие ранее в природных условиях, в настоящее время становятся составной частью атмосферного воздуха, его микроэлементами.

**Таблица 13. Состав сухого атмосферного воздуха**

Состав атмосферного воздуха		
наименование основных газов	содержание, % объемные	относительная молекулярная масса, кг/моль
Азот	78,09	28
Кислород	20,95	32
Аргон	0,93	39
Углекислый газ	0,03	44
Неон	$1,8 \cdot 10^{-3}$	20
Гелий	$5,2 \cdot 10^{-4}$	4
Криптон	$1,0 \cdot 10^{-4}$	83
Ксенон	$8,0 \cdot 10^{-6}$	131
Водород	$5,0 \cdot 10^{-5}$	2
Озон	$1,0 \cdot 10^{-6}$	48

*Примечание:* Средняя относительная молекулярная масса сухого воздуха составляет 28,966 кг/моль.

**Таблица 14. Данные о массовом выделении в атмосферу некоторых газообразных веществ антропогенными и природными источниками**

Выделение ( $10^6$ т/сутки) некоторых газообразных веществ		
вещество	источник	
	природный	антропогенный
Диоксид серы	-	0,4
Сероводород	0,3	0,01
Оксиды азота	2	0,2
Аммиак	3	0,01
Углеводороды	2	0,2
Оксид углерода	10	1
Диоксид углерода	3000	50

Воздух считается чистым, если ни один из микрокомпонентов не присутствует в концентрациях, способных нанести ущерб здоровью человека, животным, растительности или вызвать ухудшение эсте-

тического восприятия окружающей среды (например, при наличии пыли, грязи, неприятных запахов или при недостатке солнечного освещения в результате задымленности воздуха). Так как все живое очень медленно адаптируется к этим новым микрокомпонентам, химические вещества служат объективным фактором неблагоприятных воздействий на природную среду и здоровье человека.

**Экологические функции атмосферы.** Атмосфера является одним из необходимых условий возникновения и существования жизни на Земле и выполняет следующие защитные экологические функции:

1. **Терморегулирующие** – предохраняет Землю от резких колебаний температуры, способствует перераспределению тепла у поверхности, участвует в формировании климата.

2. **Жизнеобеспечивающие** – участвует в обмене и круговороте веществ в биосфере благодаря наличию жизненно важных элементов (кислород, углерод, азот).

3. **Защитные** – защищает живые организмы от губительных УФ, рентгеновских и космических лучей.

Атмосфера обладает способностью к самоочищению. Оно происходит при вымывании аэрозолей из атмосферы осадками, турбулентном перемешивании приземного слоя воздуха, отложении загрязнений на поверхности земли и т.д. Однако в современных условиях возможности природных систем атмосферы серьезно подорваны, и атмосферный воздух уже не в полной мере выполняет свои защитные, терморегулирующие и жизнеобеспечивающие экологические функции.

Под **загрязнением атмосферного воздуха** понимается любое изменение его состава и свойств, которое оказывает негативное воздействие на здоровье человека и животных, состояние растений и экосистем. По происхождению загрязнения делятся на естественные (вызванные природными процессами) и антропогенные (связанные с выбросами загрязняющих веществ в процессе деятельности человека) (табл. 15).

**Классификация выбросов вредных веществ в атмосферу по агрегатному состоянию:**

- газообразные ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , углеводороды и др.);
- жидкие (кислоты, щелочи, растворы солей);
- твердые (сажа, органическая и неорганическая пыль, смолистые вещества, свинец и его соединения и др.).

**Таблица 15. Источники загрязнения**

Естественные источники	Антропогенные источники
Пыльные бури	Промышленные предприятия
Вулканы	Транспорт
Пожары	Теплоэнергетика
Выветривание	Отопление жилищ
Разложение организмов	Сельское хозяйство

**Основные загрязнители атмосферного воздуха.** Основными загрязнителями атмосферного воздуха, образующимися как в процессе хозяйственной деятельности человека, так и в результате природных процессов, являются диоксид серы SO<sub>2</sub>, диоксид углерода CO<sub>2</sub>, оксиды азота NO<sub>x</sub>, твердые частицы – аэрозоли. Их доля составляет 98 % в общем объеме выбросов вредных веществ. Помимо этих основных загрязнителей, в атмосфере наблюдается еще более 70 наименований вредных веществ: формальдегид, фенол, бензол, соединения свинца и других тяжелых металлов, аммиак, сероуглерод и др.

**Экологические последствия загрязнения атмосферы.** К важнейшим экологическим последствиям глобального загрязнения атмосферы относятся:

- возможное потепление климата (парниковый эффект);
- нарушение озонового слоя;
- выпадение кислотных дождей;
- ухудшение здоровья.

**Парниковый эффект** – это повышение температуры нижних слоев атмосферы Земли по сравнению с эффективной температурой, т.е. температурой теплового излучения планеты, наблюдаемого из космоса.

**Парниковый эффект** был обнаружен Жозефом Фурье в 1824 году и впервые был количественно исследован Сванте Аррениусом в 1896. Это процесс, при котором поглощение и испускание инфракрасного излучения атмосферными газами вызывает нагрев атмосферы и поверхности планеты. На Земле основными парниковыми газами являются: водяной, углекислый газ, метан, озон. Атмосфер-

ные концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  увеличились на 31 % и 149 % соответственно по сравнению с началом промышленной революции в середине XVIII века. Такие уровни концентрации достигнуты впервые за последние 650 тысяч лет — период, в отношении которого достоверные данные были получены из образцов полярного льда. Угольные электростанции, автомобильные выхлопы, заводские трубы и другие созданные человечеством источники загрязнения вместе выбрасывают в атмосферу около 22 миллиардов тонн углекислого газа и других парниковых газов в год. Животноводство, применение удобрений, сжигание угля и другие источники дают около 250 миллионов тонн метана в год. Около половины всех парниковых газов, выброшенных человечеством, осталось в атмосфере. Около трёх четвертей всех антропогенных выбросов парниковых газов за последние 20 лет вызваны использованием *нефти, природного газа и угля*. Большая часть остального вызвана изменениями ландшафта, в первую очередь вырубкой лесов. ***Глобальное потепление сопровождается 3 факторами:***

- Увеличение эмиссии парниковых газов.
- Рост поверхностной температуры воздуха.
- Повышение уровня океана.

***К наиболее вероятным изменениям погодных факторов относятся:***

- Интенсивное выпадение осадков.
- Более высокие максимальные температуры, увеличение числа жарких дней и уменьшение числа морозных дней во всех регионах Земли.
- Уменьшение разброса температур.

Как следствие перечисленных изменений можно ожидать усиление ветров и увеличение интенсивности тропических циклонов (общая тенденция к усилению которых отмечена ещё в XX веке), увеличение частоты сильных осадков, заметное расширение районов засух. Межправительственная комиссия выделила ряд районов, наиболее уязвимых к ожидаемому изменению климата. Это район Сахары, мега-дельты Азии, небольшие острова. Антарктика. Рельеф поверхности материка без ледникового покрова. К негативным изменениям в Европе относятся увеличение температур и усиление засух на юге (в результате — уменьшение водных ресурсов и уменьшение выработки гидроэлектроэнергии, уменьшение продук-

ции сельского хозяйства, ухудшение условий туризма), сокращение снежного покрова и отступление горных ледников, увеличение риска сильных *наводков* и *катастрофических наводнений* на реках; усиление летних осадков в Центральной и Восточной Европе, увеличение частоты лесных пожаров, пожаров на торфяниках, сокращение продуктивности лесов; возрастание неустойчивости грунтов в Северной Европе. В Арктике — катастрофическое уменьшение площади покровного оледенения, сокращение площади морских льдов, усиление эрозии берегов (табл. 16).

**Таблица 16. Распределение выбросов основных загрязняющих веществ от автотранспорта в 2015 г. по федеральным округам, тыс. т (по данным Росприроднадзора) [17]**

Федеральный округ	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	ЛОС	CO	C	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	Всего
Центральный	19,60	376,20	368,70	2825,30	6,50	9,30	15,10	<b>3620,60</b>
Северо-Западный	7,20	137,20	135,20	1047,60	2,50	3,30	5,50	<b>1338,50</b>
Южный	8,10	158,50	145,90	1095,50	2,60	3,90	5,80	<b>1420,40</b>
Северо-Кавказский	4,90	91,00	81,30	622,60	1,70	2,00	3,20	<b>806,70</b>
Приволжский	16,40	319,80	294,40	2211,90	5,30	7,90	11,70	<b>2867,20</b>
Уральский	7,40	141,60	128,40	970,90	2,50	3,30	5,10	<b>1259,10</b>
Сибирский	10,10	198,00	182,60	1369,40	3,30	4,90	7,30	<b>1775,50</b>
Дальневосточный	4,10	77,10	69,70	527,60	1,40	1,80	2,80	<b>684,30</b>
Крымский	0,22	4,90	4,80	36,00	0,11	0,12	0,23	<b>46,30</b>
<b>Итого по России</b>	<b>78,02</b>	<b>1504,30</b>	<b>1411,00</b>	<b>10706,80</b>	<b>25,91</b>	<b>36,52</b>	<b>56,73</b>	<b>13818,60</b>

Наблюдаемое в настоящее время изменение климата, которое выражается в постепенном повышении среднегодовой температуры, начиная со второй половины XX века, большинство ученых связывают с накоплением в атмосфере так называемых парниковых

газов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , хлорфторуглеродов (фреонов), озона, оксидов азота и др. Парниковые газы атмосферы, и в первую очередь  $\text{CO}_2$ , пропускают внутрь большую часть солнечного коротковолнового излучения ( $\lambda = 0,4\text{--}1,5$  мкм), но препятствуют длинноволновому излучению с поверхности Земли ( $\lambda = 7,8\text{--}28$  мкм).

Расчеты показывают, что в 2005 г. среднегодовая температура была на  $1,3$  °С выше, чем в 1950–1980 гг., а к 2100 г. будет на  $2\text{--}4$  °С выше. Экологические последствия такого потепления могут быть катастрофическими. В результате таяния полярных льдов, горных ледников уровень Мирового океана может повыситься на  $0,5\text{--}2,0$  м к концу XXI века, а это приведет к затоплению приморских равнин более чем в 30 странах, заболачиванию обширных территорий, нарушению климатического равновесия (рис. 105).

С другой точки зрения, образующееся в результате потепления количество осадков, влага аккумулируются в полярных широтах, в результате уровень Мирового океана должен снижаться. Баланс полярного оледенения нарушится, если потепление превысит  $5$  °С.



Рис. 105. Парниковый эффект и радиационный баланс Земли

В декабре 1997 г. на встрече в Киото (Япония), посвященной глобальному изменению климата, делегатами из более чем 160 стран была принята конвенция, обязывающая развитые страны сократить выбросы CO<sub>2</sub>. **Киотский протокол обязывал 38 индустриально развитых стран сократить к 2008–2012 гг. выбросы CO<sub>2</sub> на 5 % от уровня 1990 г.:**

- Европейский союз должен сократить выбросы CO<sub>2</sub> и других тепличных газов на 8 %;
- США – на 7 %;
- Япония – на 6 %.

Протокол предусматривал систему квот на выбросы тепличных газов. Суть его заключается в том, что каждая из стран (пока это относилось только к тридцати восьми странам, которые взяли на себя обязательства сократить выбросы), получать разрешение на выброс определенного количества тепличных газов. При этом предполагалось, что какие-то страны или компании превысят квоту выбросов. В таких случаях эти страны или компании смогли бы купить право на дополнительные выбросы у тех стран или компаний, выбросы которых меньше выделенной квоты. **Таким образом, предполагалось, что главная цель – сокращение выбросов тепличных газов в следующие 15 лет на 5 % будет выполнена. Фактически это не выполнено** (рис. 106).

На сегодняшний день основным мировым соглашением о противодействии глобальному потеплению является Киотский протокол (согласован в 1997, вступил в силу в 2005), дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Протокол включает более 160 стран мира и покрывает около 55 % общемировых выбросов парниковых газов. Первый этап осуществления протокола закончится в конце 2012 года, международные переговоры о новом соглашении начались в 2007 году на острове Бали (Индонезия) и его окончательное принятие ожидается на конференции ООН в Копенгагене в декабре 2009. В 1980 году более 100 миллионов тонн CO<sub>2</sub> было выброшено в атмосферу в восточной части Северной Америки, Европе, западной части СССР и крупных городах Японии. Выбросы CO<sub>2</sub> развитых стран в 1985 году составили 74 % от общего объёма, а доля развивающихся стран составила 24 %.

Ученые предполагают, что к 2025-му году доля развивающихся стран в производстве углекислого газа возрастет до 44 %. В последние годы Россия и страны бывшего СССР значительно сокра-

тили выбросы в атмосферу  $\text{CO}_2$  и других тепличных газов. Это прежде всего связано с переменами, происходящими в этих странах, и падением уровня производства. Тем не менее, ученые ожидают, что в начале двадцать первого века Россия достигнет прежних объёмов выброса в атмосферу тепличных газов. В качестве других причин, вызывающих потепление климата, ученые называют непостоянство солнечной активности, изменение магнитного поля Земли и атмосферного электрического поля.

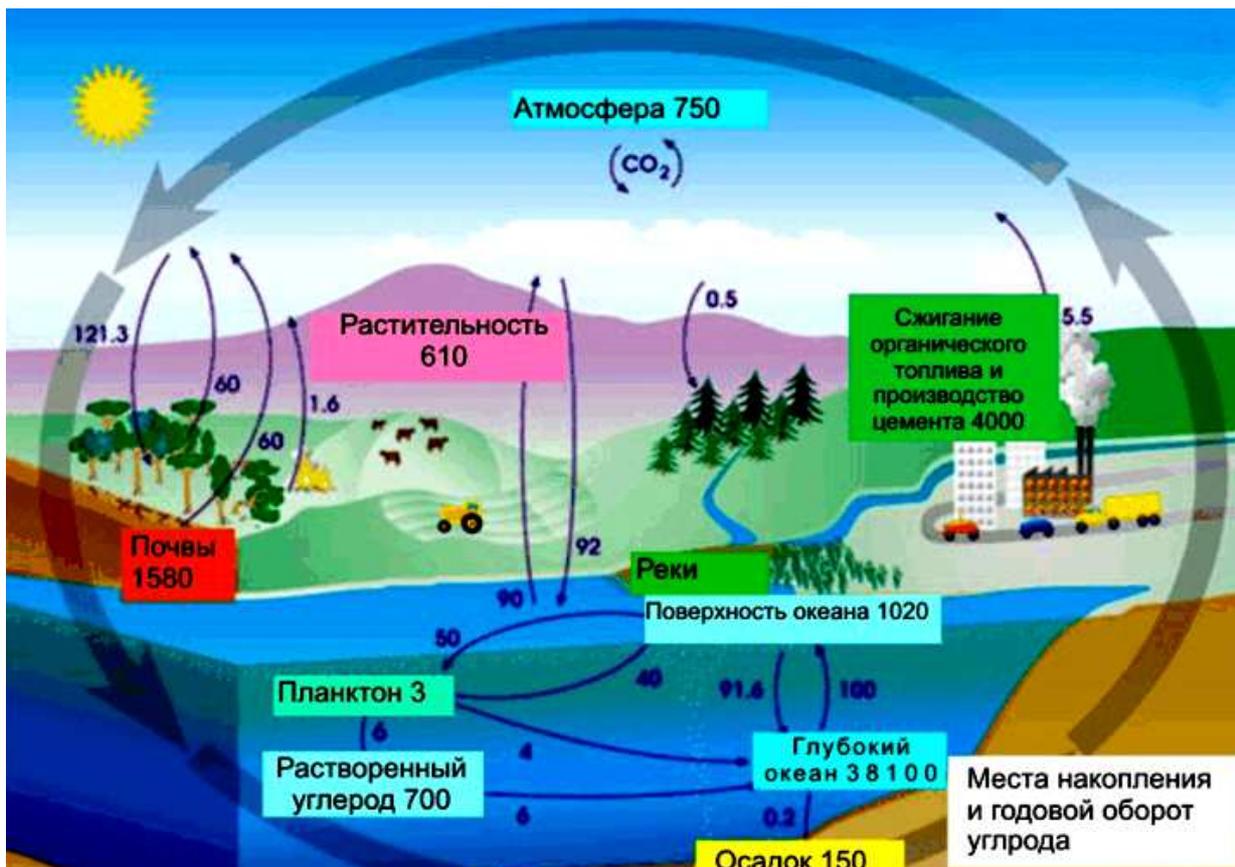


Рис. 106. Глобальный круговорот углерода

*Существует конфликт и на межгосударственном уровне. Такие развивающиеся страны, как Индия и Китай, вносящие значительный вклад в загрязнение атмосферы тепличными газами, присутствовали на встрече в Киото, но не подписали соглашение.* Развивающиеся страны вообще с настороженностью воспринимают экологические инициативы индустриальных государств. *Аргументы просты:*

- основное загрязнение тепличными газами осуществляют развитые страны.

- ужесточение контроля на руку индустриальным странам, так как это будет сдерживать экономическое развитие развивающихся стран.

***Последствия:***

- Сильно отразится на жизни некоторых животных. Например, белые медведи, тюлени и пингвины будут вынуждены сменить места своего обитания, так как и нынешние просто растают. Многие виды животных и растений могут просто исчезнуть, не успев приспособиться к быстро изменяющейся среде обитания.

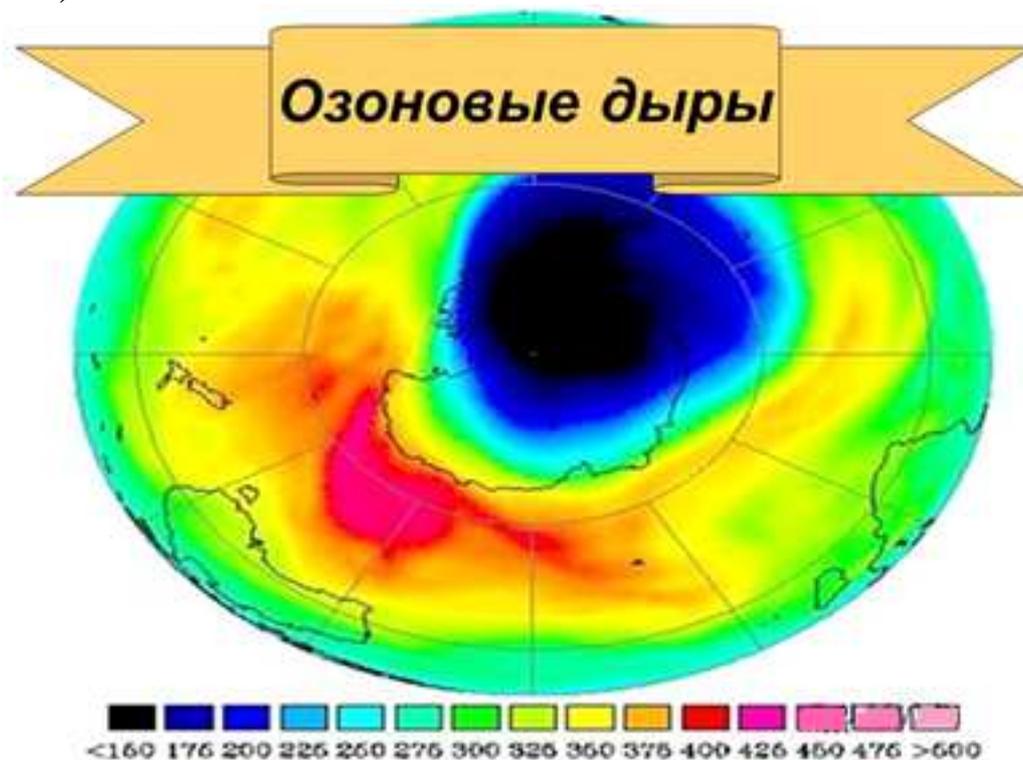
- Изменит погоду в мировом масштабе. Ожидаются рост числа климатических катаклизмов; более продолжительные периоды экстремально жаркой погоды; будет больше дождей, но при этом вырастет вероятность засухи во многих регионах; рост числа наводнений из-за ураганов и роста уровня моря. Но все зависит от конкретного региона.

- увеличение средней годовой температуры поверхностного слоя атмосферы будет сильнее ощущаться над материками, чем над океанами, что в будущем вызовет коренную перестройку природных зон материков. Смещение ряда зон в Арктические и Антарктические широты отмечается уже сейчас. Зона вечной мерзлоты уже сместилась к северу на сотни километров. Некоторые учёные утверждают, что вследствие быстрого таяния вечной мерзлоты и повышения уровня Мирового океана, в последние годы Ледовитый океан наступает на сушу со средней скоростью 3-6 метров за лето, а на арктических островах и мысах высоко льдистые породы разрушаются и поглощаются морем в теплый период года со скоростью до 20-30 метров. Исчезают полностью целые арктические острова; так уже в 21 веке исчезнет остров Муостах вблизи устья реки Лены. При дальнейшем увеличении среднегодовой температуры приземного слоя атмосферы, тундра может практически полностью исчезнуть на Европейской части России и сохранится только лишь на арктическом побережье Сибири.

- Повышение температуры создаёт благоприятные условия для развития болезней, чему способствуют не только высокая температура и влажность, но и расширение ареала обитания ряда животных – переносчиков болезней. К середине 21 века ожидается, что заболеваемость малярией вырастет на 60%. Усиленное развитие микрофлоры и нехватка чистой питьевой воды будет способствовать рос-

ту инфекционных кишечных заболеваний. Быстрое размножение микроорганизмов в воздухе может увеличить заболеваемость астмой, аллергией и различными респираторными болезнями.

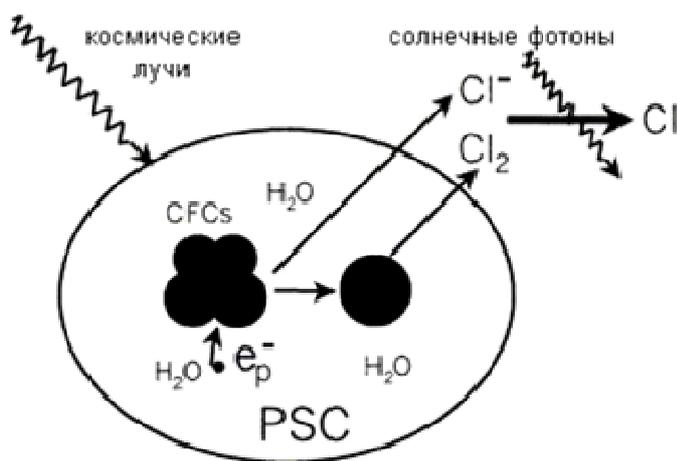
**Нарушение озонового слоя.** Снижение концентрации озона ослабляет способность атмосферы защищать все живое на Земле от жесткого УФ-излучения. Растения под влиянием сильного УФ-излучения теряют способность к фотосинтезу, наблюдается увеличение заболевания раком кожи у людей, снижение иммунитета (рис. 107).



**Рис. 107. Озоновая дыра и примерное содержание озона**

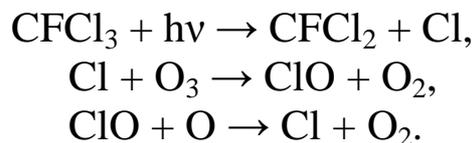
Под «озоновой дырой» понимается значительное пространство в озоновом слое атмосферы с заметно пониженным (до 50 %) содержанием озона. Первая «озоновая дыра» была обнаружена над Антарктидой в начале 80-ых гг. XX века. С тех пор результаты измерений подтверждают уменьшение озонового слоя на всей планете. Предполагают, что это явление имеет антропогенное происхождение и связано с повышением содержания хлорфторуглеродов (ХФУ) или фреонов в атмосфере. Фреоны широко применяются в промышленности и в быту в качестве аэрозолей, хладагентов, растворителей.

Фреоны – это высокостабильные соединения. Время жизни некоторых фреонов составляет 70–100 лет. Они не поглощают солнечное излучение с большой длиной волны и не могут подвергнуться его воздействию в нижних слоях атмосферы. Но, поднимаясь в верхние слои атмосферы, фреоны преодолевают защитный слой. Коротковолновое излучение высвобождает из них атомы свободного хлора (рис. 108).



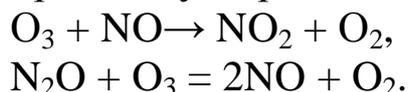
**Рис. 108. Разрушение фреонов под действием космических лучей**

Атомы хлора затем вступают в реакцию с озоном:



Таким образом, разложение ХФУ солнечным излучением создает цепную реакцию, согласно которой 1 атом хлора способен разрушить до 100000 молекул озона.

Разрушать озон способны и другие химические вещества, например, четыреххлористый углерод  $\text{CCl}_4$  и оксид азота  $\text{N}_2\text{O}$ :

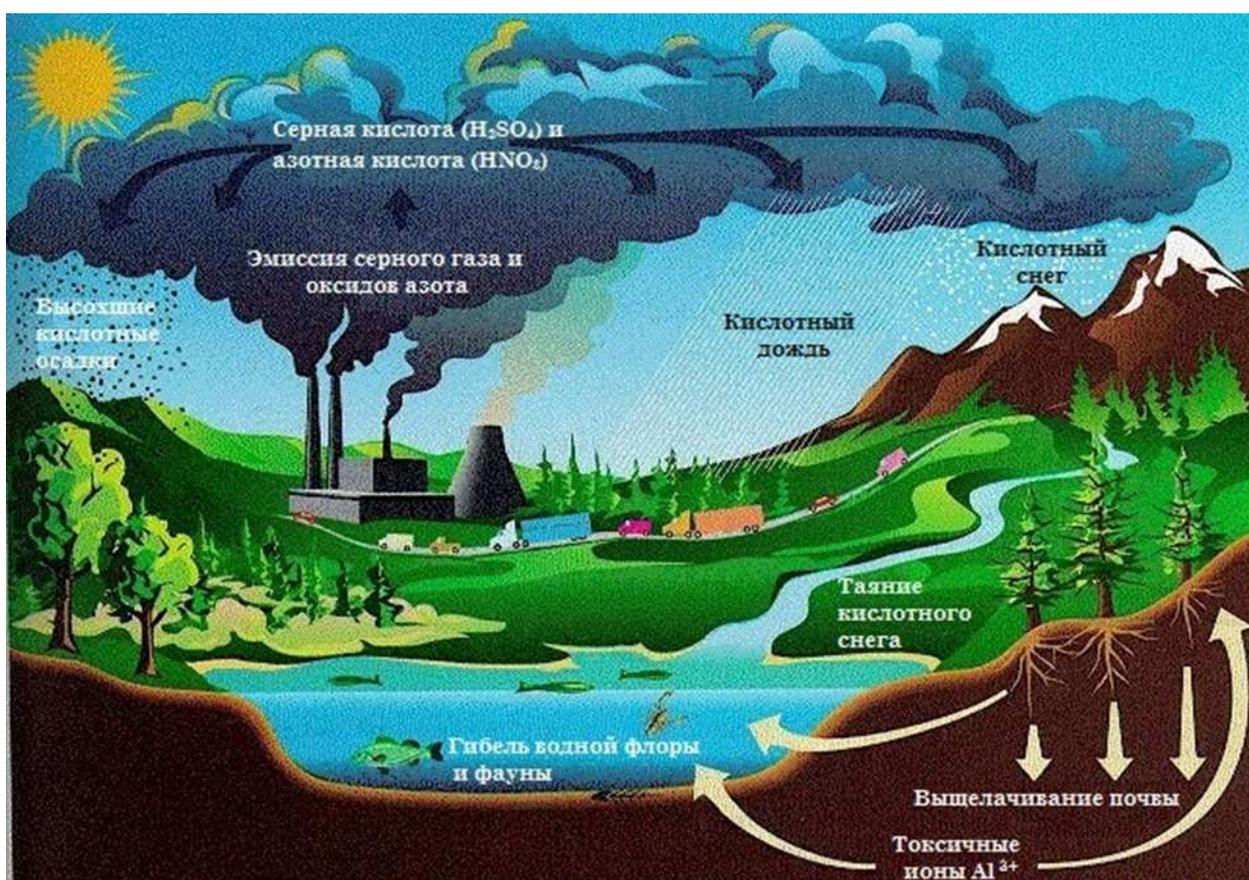
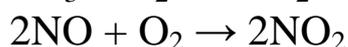


Следует отметить, что некоторые ученые настаивают на естественном происхождении озоновых дыр.

**Кислотные дожди.** Кислотные дожди образуются в результате промышленных выбросов в атмосферу диоксида серы и оксидов азота, которые, соединяясь с атмосферной влагой, образуют серную и азотную кислоты. Чистая дождевая вода имеет слабокислую реакцию  $\text{pH} = 5,6$ , так как в ней легко растворяется  $\text{CO}_2$  с образованием слабой угольной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Кислотные осадки имеют  $\text{pH} = 3-5$ , максимальная зарегистрированная кислотность в Западной Европе –  $\text{pH} = 2,3$  (рис. 109).

Оксиды серы поступают в воздух ~ 40 % от естественных источников (вулканическая деятельность, продукты жизнедеятельности микроорганизмов) и ~ 60 % – от антропогенных (продукт сжигания ископаемых видов топлива, содержащих серу, на тепловых

электростанциях, в промышленности, при работе автотранспорта). Естественными источниками соединений азота являются грозовые разряды, почвенная эмиссия, горение биомассы (63 %), антропогенными – выбросы автотранспорта, промышленности, тепловых электростанций (37 %). **Основные реакции в атмосфере:**



**Рис. 109. Кислотные дожди**

Опасность представляют не сами кислотные осадки, а протекающие под их влиянием процессы. Наибольшую опасность кислотные осадки представляют при их попадании в водоемы и почвы, что приводит к уменьшению рН среды. От значения рН зависит растворимость алюминия и тяжелых металлов, токсичных для живых организмов. При изменении рН меняется структура почвы, снижается ее плодородие.

В рамках выполнения международной «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе» (ЕМЕП) в 2015 г. Росгидрометом проводились наблюдения на четырех станциях ЕМЕП, расположенных в северо-западном регионе России (Янискоски, Пинега) и в центральной части Европейской России: на станциях Данки (юг Московской обл.), Центрально-лесной заповедник (Тверская обл.). Распределение повторяемости наблюдавшихся значений рН суточных осадков в различных диапазонах характера кислотности показывает, что кислые осадки ( $\text{pH} < 4$ ) в 2015 г. не наблюдались. На приграничных территориях отмечаются слабокислые осадки, тем не менее, в северо-западной части ЕТР атмосферные выпадения в целом нейтральные, с наибольшей вероятностью значений рН от 5 до 6.

Среднегодовая концентрация сульфатной серы в осадках в 2015 г. изменялась от 0,28 мг S/л на станции Янискоски до 0,41 мг S/л на станции Данки (в районе Приокско-Тerrasного биосферного заповедника). Характер пространственного распределения содержания нитратов в осадках практически совпадал с наблюдающимся в 2015 г. для сульфатов: наименьшее значение среднегодовой концентрации составило 0,12 мг N /л на станции Янискоски (Мурманская обл.), на территориях более низких широт вдали от промышленных районов и крупных городов (станции Пинега и Центрально-лесной заповедник) 0,24-0,28 мг N/л, на станции Данки – 0,31 мг N/л. Для ионов аммония были характерны практически одинаковые значения среднегодовых концентраций, 0,43 – 0,45 мг N/л.

Во внутрigoдовом ходе максимальные концентрации сульфатов в районах на станциях ЕМЕП наблюдались в весенний и осенний периоды, при более чем пятикратном превышении значений в холодный период по сравнению с теплым. Наиболее высокая концентрация нитратов и ионов аммония в осадках также наблюдается в холодный период года, отражая важную роль переноса от антропогенных источников при формировании уровней содержания азотсодержащих соединений в осадках.

Рассчитанные по средневзвешенным концентрациям и месячным суммам выпавших осадков величины влажных выпадений для районов станций составляли в 2015 г.: серы 0,14-0,21 г/м<sup>2</sup> в год и азота 0,26-0,44 г/м<sup>2</sup> в год. Для всех станций ЕМЕП количество влажных выпадений серы и азота в зимний период существенно

ниже, чем в летний. Доля аммонийного азота составила около 60% от суммарного влажного выпадения азота. Многолетние вариации выпадений связаны с межгодовой изменчивостью сумм осадков (вариации месячных и годовых величин могут составить десятки процентов от среднемноголетних значений), а также с динамикой выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в странах Европы.

При относительно большой вариации годовых значений можно отметить практически отсутствие направленного уменьшения сумм влажных выпадений за период действия Гетеборгского протокола (подписан в 1999 г.) с незначимыми характеристиками линейного тренда. По результатам расчета многолетних выпадений с осадками суммы нитратного и аммонийного азота, представленным на *рис. 52*, отмечается, что в целом на некоторых российских станциях ЕМЕП можно отметить рост выпадений азота. Темпы этого роста различны от станции к станции, что может быть связано с высокой межгодовой вариабельностью значений.

Среднее содержание оксидов серы и азота (газы и аэрозоли) в атмосферном воздухе, оценивающиеся по результатам определения среднесуточных концентраций газов и аэрозолей на станциях ЕМЕП, в целом закономерно возрастает с севера ЕТР к центральным районам России. Уровни концентраций значительно ниже, чем принятые границы допустимых значений для самых чувствительных видов наземной растительности, указанные в научной литературе. Внутригодовая изменчивость концентраций оксидов серы имеет явную сезонную зависимость: наибольшие средние концентрации сернистого газа на станции Данки в 2015 г. наблюдались в феврале-марте (0,94-1,08 мкг/м<sup>3</sup>), аэрозольного сульфата – в январе-марте (от 0,53 до 0,96 мг S/м<sup>3</sup>). Сравнение годовых влажных выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2015 г. и значений критических нагрузок по этим элементам для районов расположения станций, позволяют сделать вывод, что выпадения серы существенно ниже критических нагрузок. Для азота суммарные выпадения близки к критическим значениям, что является тревожным сигналом с учетом существующих тенденций изменения выпадений азота с осадками к росту год от года.

***Особое значение регулярная оценка наблюдаемых климатических аномалий и изменений климата приобретает в связи с наблюдающимся глобальным потеплением, причиной которого является хозяйственная деятельность человека, и в первую оче-***

***редь – выбросы парниковых газов при сжигании углеводородного топлива, поэтому исключительно важно своевременное получение надежных оценок и доведение их до правительственных органов и общественности.***

По всем имеющимся данным мировых климатических центров 2015 год оказался самым теплым в глобальном масштабе за все время наблюдений. Средняя температура периода 1961-1990 гг., принимаемая Всемирной метеорологической организацией за климатическую норму, была превзойдена в прошедшем году на  $0,76^{\circ}\text{C}$ : предыдущий максимум наблюдался годом ранее, в 2014 году, и составил  $0,57^{\circ}\text{C}$ . Следует отметить, что из 5 наиболее теплых лет 4 наблюдались в 21 столетии (а 5-й – 1998 г.).

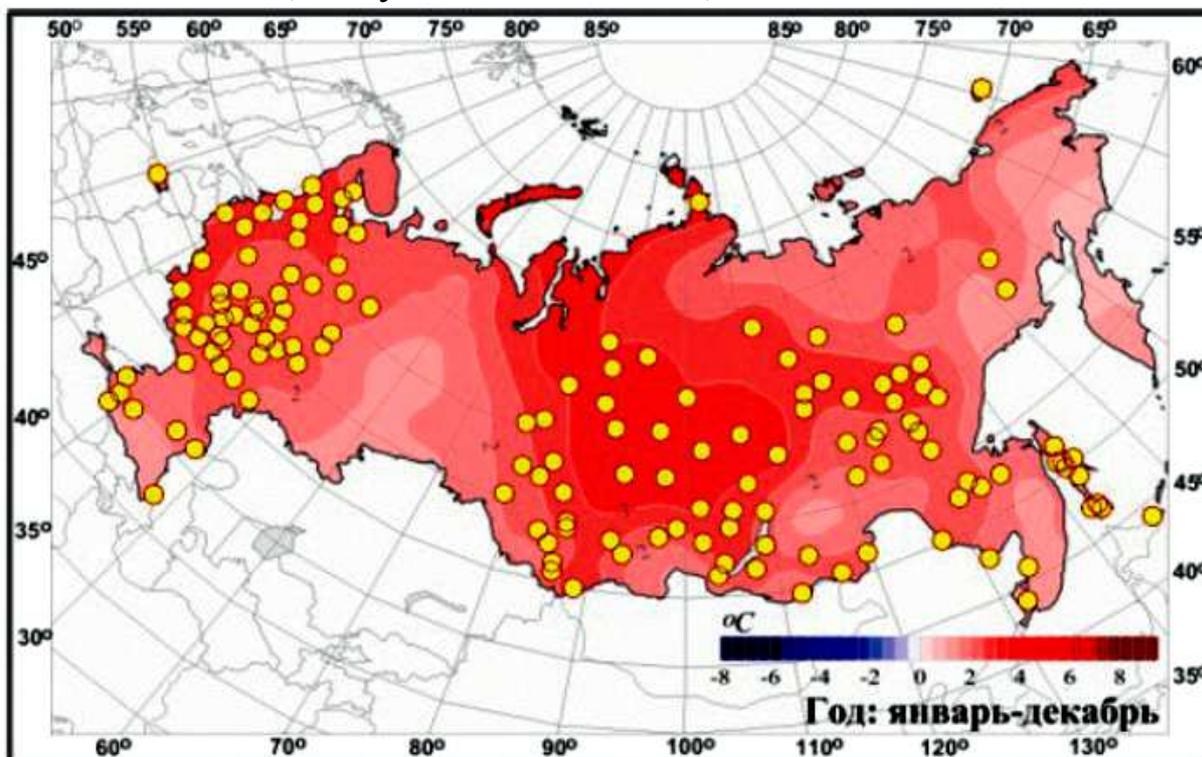
По данным 310 метеостанций Росгидромета 2015 год был самым теплым с 1936 г.: осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-1990 гг.) составила  $+2,16^{\circ}\text{C}$  (в 2007 г.  $+2,07^{\circ}\text{C}$ , в 1995  $+2,04^{\circ}\text{C}$ ).

Рекордно тепло было как в ЕЧР ( $+2,07^{\circ}\text{C}$ ), так и в АЧР ( $+2,20^{\circ}\text{C}$ ). Повсеместно, кроме северо-востока ЕЧР, Уральского и северо-востока Дальневосточного федеральных округов, отмечены экстремальные годовые температуры, в среднем наблюдающиеся реже 1 раза в 20 лет.

Исключительно теплой была зима: аномалия  $+3,56^{\circ}\text{C}$ , почти на  $0,5^{\circ}\text{C}$  больше максимума 2007 г. особенно тепло было в АЧР (аномалия  $+3,65^{\circ}\text{C}$ ). Очень теплой была весна: аномалия по России  $+2,32^{\circ}\text{C}$  – четвертая в ряду, в АЧР сезонная аномалия:  $+2,41^{\circ}\text{C}$ , 2-я с 1936 г. На севере ЕЧР, Урале, в Западной Сибири повсеместно – экстремальные (95 %) сезонные температуры. Очень тепло в АЧР было летом: аномалия  $+1,43^{\circ}\text{C}$  – 2-я в ряду. Лето было прохладным на севере ЕЧР и Урале, осень – на Урале и юге Западной Сибири. Очень теплым был декабрь:  $+4,09^{\circ}\text{C}$ , 2-й после 2013 г. (рис. 110, 111).

Потепление (1976-2015 гг.) продолжается в среднем за год на всей территории России ( $0,45^{\circ}\text{C}/10$  лет), максимум потепления – на арктическом побережье и западе ЕЧР. Теплеет во все сезоны, кроме зимы, наиболее быстро весной ( $0,59^{\circ}\text{C}/10$  лет). Зимой после очень быстрого потепления в 1976-1995 гг. наблюдалось похолодание, которое возможно прекратилось после самой холодной за последние 30 лет зимы 2010 г.

Минимальная среднемесячная температура воздуха в 2015 г. отмечена на метеостанции Оймякон (Якутия) в декабре (-46,3 °С). Максимальная среднемесячная температура воздуха, которая составила +27,5°С отмечена в июле на метеостанциях «Комсомольский» и «Утта» (Республика Калмыкия).



**Рис. 110. Аномалии средней годовой и сезонных температур приземного воздуха на территории России в 2015 г. (отклонения от средних за 1961-1990 гг. с указанием локализации 95 %-х экстремумов – желтые кружки, по данным Росгидромета) [17]**

#### **6.4. Система мониторинга атмосферных загрязнений**

Ежегодно в атмосферу (атмосферный воздух – АВ) в мире в городах и крупных промышленных центрах выбрасывается более 200 млн т оксида углерода, до 150 млн т диоксида серы, свыше 50 млн т оксида азота, более 50 млн т различных углеводородов и около 250 млн т мелкодисперсных аэрозольных частиц. Основным источником выделений этих веществ на урбанизированных территориях является автотранспорт. Именно ему принадлежит «первенство» в формировании в воздушном бассейне достаточно устойчивых концентраций пыли, сажи, летучих органических соединений и др. Вторым по значимости источником загрязнения



крупных промышленных предприятий, автотрасс, а также в районах жилой застройки, зонах массового отдыха, развлечений и др.

***Введение в проблему и определение основных понятий.*** Под ***мониторингом атмосферных загрязнений*** понимается система постоянных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха путем измерения соответствующих параметров и характеристик с научно-обоснованными целями и программами. ***Его основными задачами являются:***

- непрерывное наблюдение и оценка фактического состояния АВ;
- прогноз изменения уровня загрязнения АВ под влиянием факторов антропогенного воздействия;
- наблюдение за естественными и антропогенными ИЗА;
- информационное обеспечение населения и поддержка принятия решений в области охраны АВ;
- оценка эффективности проводимых воздухоохраных мероприятий и программ.

***Методология создания подобной системы, как и любых других информационно-измерительных систем вообще, базируется на известных положениях системного анализа, основными принципами которого являются:***

- ***принцип целенаправленности***, заключающийся в приоритетном проведении работ в районах с неблагоприятной экологической обстановкой для принятия управленческих решений, обеспечивающих безопасность и здоровье населения;
- ***принцип системности***, предусматривающий рассмотрение экологической ситуации как результата взаимодействия человека с окружающей средой, состоящей из четырех основных оболочек нашей планеты: воздушной, водной, биологической, литогенной (или геологической);
- ***принцип комплексности***, определяющий необходимость взаимосвязанного изучения окружающей среды с помощью оптимального комплекса аэрокосмических и наземных методов исследований;
- ***принцип периодичности***, состоящий в регламентированной повторности проводимых наблюдений;
- ***принцип последовательного приближения***, обеспечивающий постепенное наращивание информации путем проведения ис-

следований на различных уровнях исследований – космос, воздух, земля, недра;

- **принцип унификации и стандартизации**, заключающийся в использовании стандартных нормированных измерительных систем, способов обработки предоставления унифицированной информации для обеспечения объективного и достоверного комплексного многофакторного анализа экологических ситуаций;

- **принцип автоматизации**, предусматривающий широкое использование оптико-электронных средств и ЭВМ для обработки получаемой информации и создания банка экологических данных;

- **принцип экономической оптимизации**, предусматривающий экологическую выгодность проведения мониторинга;

- **принцип экологической чистоты работ**, заключающийся в преимущественном использовании экологически безвредных технологий.

Таким образом, **система мониторинга атмосферных загрязнений** – это интегрированная многоуровневая информационно-измерительная система, состоящая из локальной, региональной, национальной (государственной) и глобальной подсистем наблюдений за состоянием АВ.

**Локальный мониторинг атмосферных загрязнений** включает наблюдения за изменениями качества АВ в пределах одного города, района и т.д. Он служит для накопления и анализа информации о конкретных источниках загрязнения и их воздействии на АВ. К нему также относятся деятельность санитарно-промышленных лабораторий предприятий, в задачи которых входят постоянные наблюдения за качественным и количественным составом ПВ, уровнем загрязнения АВ в цехах и на промышленных площадках, а также система автоматизированных станций контроля ПВ, образованную автоматическими газоанализаторами, установленными непосредственно на источнике выброса на предприятии, в задачи которой входит постоянный контроль за их качественным и количественным составом с ежедневной передачей данных в единый центр сбора и обработки информации.

**Региональный мониторинг атмосферных загрязнений** осуществляет наблюдения за уровнем загрязнения АВ в регионе, крае или в области, или в пределах нескольких из них.

**Государственным (национальным) мониторингом атмосферных загрязнений** называется система наблюдений в

рамках одного государства. Она отличается от глобального мониторинга не только масштабами, но и тем, что основной его задачей является получение информации и оценка состояния окружающей среды в национальных интересах. Так, например, повышение уровня загрязнения атмосферы в отдельных городах или промышленных районах может и не иметь существенного значения для оценки состояния биосферы в глобальном масштабе, но представляется важным для принятия мер в данном районе, на национальном уровне.

*Глобальный мониторинг атмосферных загрязнений* осуществляется в масштабе земного шара в целом на основе международного сотрудничества, которое в последние годы становится все более и более интенсивным.

**Государственная система мониторинга загрязнений атмосферы.** *Государственная подсистема мониторинга атмосферных загрязнений* (далее – ГСМАЗ), созданная в 1972 году на базе стационарных станций Госкомгидромета, является составной частью Единой государственной системы экологического мониторинга (далее – ЕГСЭМ), в которую помимо ГСМАЗ входят:

- подсистема мониторинга источников загрязнения, контролирующая выбросы и сбросы ЗВ в соответствии со спецификой работы каждого предприятия;
- подсистема мониторинга озер и рек для измерения температуры, минерализации, цветности, рН, БПК, ХПК, запаха, концентрации взвешенных веществ, основных ионов, биогенных компонентов, нефтепродуктов, ПАВ, высшей водной растительности и пр. в местах сброса сточных, подогретых ( $>40^{\circ}\text{C}$ ), коллекторно-дренажных вод, мест нерестилищ и зимовки рыб;
- подсистема мониторинга морей, включающая наблюдения по сокращенной программе содержания растворенного кислорода, нефтепродуктов, двух-трех основных загрязнителей, радиационной обстановки, метеопараметров (головным информационно-аналитическим центром по мониторингу водных объектов является Гидрохимический институт);
- подсистема мониторинга почв с контролем тяжелых металлов, пестицидов и радиационный контроль на сельскохозяйственных полях и вокруг промышленных объектов с занесением данных в Государственный земельный кадастр (работы проводятся совместно с

Федеральным агентством по сельскому хозяйству и Федеральным агентством кадастра объектов недвижимости);

- подсистема фонового мониторинга, в задачу которого входит определение первичных показателей загрязнения окружающей природной среды на территориях, удаленных от мест интенсивной антропогенной деятельности, и которая является частью систем национального и глобального мониторинга (осуществляется базовыми и региональными станциями Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), расположенными вблизи урбанизированных территорий и дающими информацию о состоянии биосферы в подверженных антропогенному загрязнению районах).

**К основным задачам ГСМАЗ** относятся: всесторонняя и полная оценка состояния загрязнения атмосферы в городах России для принятия решений по экологической безопасности; контроль за эффективностью выполнения мероприятий по снижению выбросов; выявление городов и территорий с опасно высоким уровнем загрязнения, создающим риск здоровью и жизни населения от выбросов промышленных предприятий, энергетики и транспорта; обеспечение заинтересованных организаций и учреждений оперативной информацией об изменениях уровня загрязнения АВ под влиянием хозяйственной деятельности человека или метеоусловий.

Правила организации ГСМАЗ в российских городах устанавливаются ГОСТом 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов», в соответствии с которым основа такой системы – это посты наблюдений (*пост наблюдения* – это выбранная точка местности, в которой систематически или по специальной программе выполняются исследования характеристик АВ (за метеорологическими параметрами и концентрациями загрязняющих веществ) с помощью павильонов или автомобилей, оборудованных специальными приборами) **трех категорий:**

- **стационарный**, служащий для обеспечения непрерывной регистрации содержания ЗВ или регулярного отбора проб воздуха для последующего количественного химического анализа (далее – КХА);

- **маршрутный**, предназначенный для регулярного отбора проб воздуха, когда невозможно или нецелесообразно устанавливать ста-

ционарный пост или необходимо более детально изучить состояние загрязнения воздуха в отдельных районах;

- **передвижной (подфакельный)**, подходящий для отбора проб воздуха под дымовым (газовым) факелом с целью выявления зоны влияния данного источника промышленных выбросов.

Каждый пост независимо от категории размещается на открытой, проветриваемой со всех сторон площадке с непылящим покрытием: асфальте, твердом грунте, газоне – таким образом, чтобы были исключены искажения результатов измерений наличием зеленых насаждений, зданий и т. д. Стационарный и маршрутный посты размещаются в местах, выбранных на основе предварительного исследования уровня загрязнения воздушной среды города и условий рассеивания, а также в центральной части населенного пункта, жилых районах с различным типом застройки, зонах отдыха, на территориях, примыкающих к магистралям интенсивного движения транспорта. **Наблюдения на постах проводятся по одной из четырех программ:**

- **полной**, предназначенной для получения информации о разовых и среднесуточных концентрациях. Наблюдения по полной программе выполняются ежедневно путем непрерывной регистрации с помощью автоматических устройств или дискретно через равные промежутки времени не менее четырех раз с обязательным отбором в 1, 7, 13, 19 ч по местному времени. Допускается проводить наблюдения по скользящему графику 7, 10, 13 ч во вторник, четверг, субботу и в 16, 19, 22 ч в понедельник, среду, пятницу.

- **неполной**, предназначенной для получения информации о разовых концентрациях. Наблюдения проводятся ежедневно в 7, 13, 19 ч местного времени.

- **сокращенной**, предназначенной для получения информации о разовых концентрациях ежедневно в сроки 7 и 13 ч местного времени. При такой программе наблюдения допускается проводить при температуре воздуха ниже минус 45 °С и в местах, где среднемесячные концентрации ниже 1/20 разовой ПДК или меньше нижнего предела диапазона измерений примеси используемым методом.

- **суточной**, предназначенной для получения информации о среднесуточной концентрации. Наблюдения по этой программе проводятся путем непрерывного суточного отбора проб.

**Перечень ЗВ** для наблюдений в ГСМАЗ устанавливается в соответствии с РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» на основе сведений о составе и объемах выбросов от источников (стационарных и передвижных) и метеорологических условий рассеивания примесей, путем оценки возможности превышения *предельной допустимой концентрации (ПДК)* этих веществ, т.е. концентрации, не оказывающей в течение всей жизни человека прямого или косвенного неблагоприятного воздействия на настоящее или будущие поколения, не снижающая его работоспособности, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни. ПДК бывает:

- **максимальной разовой**, в основе которой лежит определение рефлекторного действия, т.е. реакции со стороны рецепторов верхних дыхательных путей – ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т.д., при кратковременном воздействии ЗВ.

- **среднесуточной**, устанавливаемой с целью предупреждения развития резорбтивного действия, т.е. возможности развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в АВ, но и длительности его вдыхания.

Оценка возможности превышения ПДК для веществ основывается на использовании *параметра потребления воздуха* (далее – ПВ), т.е. объема воздуха, необходимого для разбавления выбросов  $M_i$  ( $i$ -го вещества) либо до какого-то реального уровня с концентрацией примеси  $q_{cpi}$ , либо до уровня с концентрацией, равной ПДК (сс или мр).

$$ПВ_i = \frac{M_i}{q_{cpi}} ПВ_{mpi} = \frac{M_i}{ПДК_{cpi}},$$

Где:  $ПВ_i$ ;  $ПВ_{mpi}$  – соответственно реальный и требуемый параметры потребления воздуха;

$M_i$  – суммарное количество выбросов  $i$ -ой примеси от всех источников, расположенных на территории города;  $q_{cpi}$  – концентрация, установленная по данным расчетов или наблюдений;

$ПДК_{cpi}$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества.

Необходимость организации наблюдений за изменением концентрации ЗВ оценивается по соотношениям параметров  $ПВ_i$  и

$PB_{mpi}$ . Если  $PB_{mpi} \geq PB_i$ , т.е. предполагаемый уровень концентрации примеси будет равен или превысит ПДК, то  $i$ -ю примесь следует внести в перечень контролируемых.

Очередность контроля того или иного ЗВ устанавливается по соотношениям параметров требуемого потребления воздуха:  $PB_{m1}1 > PB_{m1}2 > PB_{m1}3 > \dots$ , при котором первым в перечень контролируемых примесей войдет показатель с наибольшим значением  $PB_{m1}$  под номером 1, второй – показатель со следующим значением  $PB_{m2}$  под номером 2 и т.д. Таким образом составляется первый предварительный список загрязняющих веществ в порядке 1, 2, 3, ... Если несколько примесей имеют одинаковые значения  $PB_{m1}$ , то сначала записываются ЗВ первого класса опасности, затем второго, третьего и четвертого.

Кроме веществ, приоритет которых устанавливается по вышеизложенному принципу, в обязательный перечень наблюдаемых показателей в городах включаются: растворимые сульфаты – в городах с населением более 100 тыс. жителей; формальдегид и соединения свинца – в городах с населением более 500 тыс. жителей, поскольку эти примеси в большом количестве выбрасываются автомобилями; тяжелые металлы – в городах с предприятиями черной и цветной металлургии; 3,4-бенз(а)пирен – в городах с населением более 100 тыс. жителей и в населенных пунктах с крупными источниками выбросов и пестициды – в городах, расположенных вблизи крупных сельскохозяйственных территорий, на которых используются пестициды.

**Также отметим, что особое внимание при составлении перечня веществ для наблюдений уделяется следующим веществам:**

- обладающим эффектом суммации (синергизмом) вредного воздействия при их совместном присутствии в АВ городов (аммиак и сероводород; аммиак, сероводород и формальдегид; аммиак и формальдегид и др.);
- рекомендованным Европейским союзом и Всемирной организацией здравоохранения для обязательного контроля в крупных городах, к которым относятся: органические (акрилонитрил, бензол, бутadiен, сероуглерод, оксид углерода, 1,2-дихлорэтан, дихлорметан, формальдегид, ПАУ, полихлорбифенилы, полихлордibenзодоксины и фураны, стирол, тетраxлорэтилен, толуол, триxлорэтилен, винилхлорид) и неорганические атмосферные загрязнители (мышь-

як, асбест, кадмий, хром, фториды, сероводород, свинец, марганец, ртуть, никель, платина, ванадий) и классические атмосферные загрязнители (диоксид азота, озон, взвешенные частицы  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$ , диоксид серы);

- стойким органическим, обладающим высокой токсичностью и способностью накапливаться в окружающей среде и живых организмах. В соответствии с решениями Стокгольмской конвенции, которую подписали 110 государств (в том числе и Россия), в перечень включены: альдрин, эндрин, хлордан, мирекс, диэльдрин, ДДТ, гексахлорбензол, токсафены, гептахлор; полихлорированные бифенилы (ПХБ), дибензо-п-диоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ), алкилпроизводные свинца, олова и ртути, ПАУ, хлорированные бензолы, хлорпарафины, фталаты;

- парниковым газам и озоноразрушающим ЗВ.

Одновременно с наблюдениями за ЗВ на постах также определяются следующие метеорологические параметры: направление и скорость ветра, температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, состояние погоды и подстилающей поверхности.

**Структура государственного экологического мониторинга.** В 1993 году было принято решение о создании Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ), которая должна объединить возможности и усилия многочисленных служб для решения задач комплексного наблюдения, оценки и прогноза состояния среды в Российской Федерации. Цель мониторинга – автоматизированный контроль окружающей природной среды в пространстве и времени в соответствии с заданной программой (рис. 112).

Главная задача — обеспечение органов государственного управления и природопользователей информацией об экологической обстановке в различных регионах страны, информационная поддержка процедур принятия решений в области природоохранной деятельности и экологической безопасности. Виды мониторинга: биоэкологический, геоэкологический, биосферный, геофизический, климатический, биологический.

В соответствии с нормативными правовыми документами общее руководство созданием и функционированием ЕГСЭМ и координация деятельности государственных органов исполнительной власти в области мониторинга окружающей природной среды возложены

на Министерство природных ресурсов РФ. Как центр единой научно-технической политики в области экологического мониторинга, ЕГСЭМ должна выполнять следующие функции.

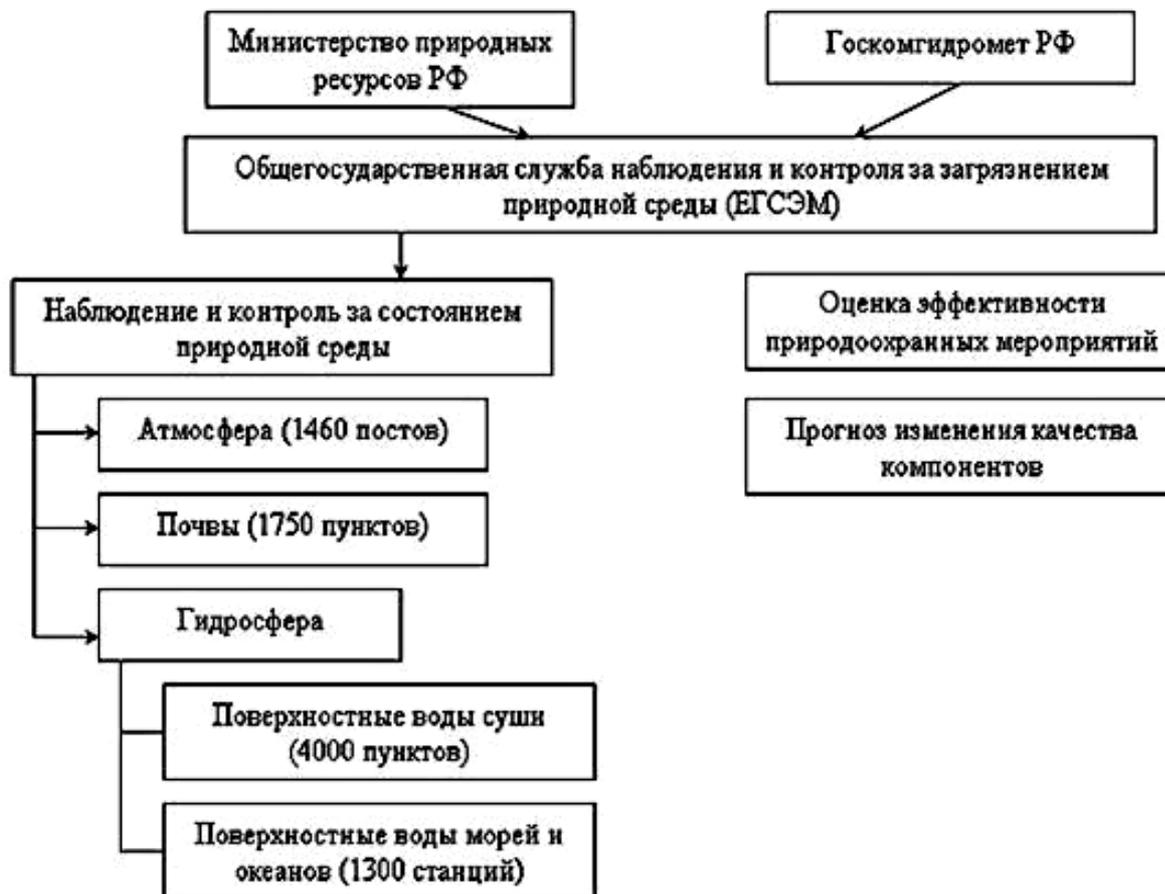


Рис. 112. Структура функций ЕГСЭМ

*Методы экологического мониторинга. Дистанционный мониторинг* осуществляется на относительно больших расстояниях от объекта наблюдения с помощью специальной аппаратуры, которая может быть установлена на искусственных спутниках земли, самолётах, вертолётах, автомобилях, судах и других носителях (рис. 113).

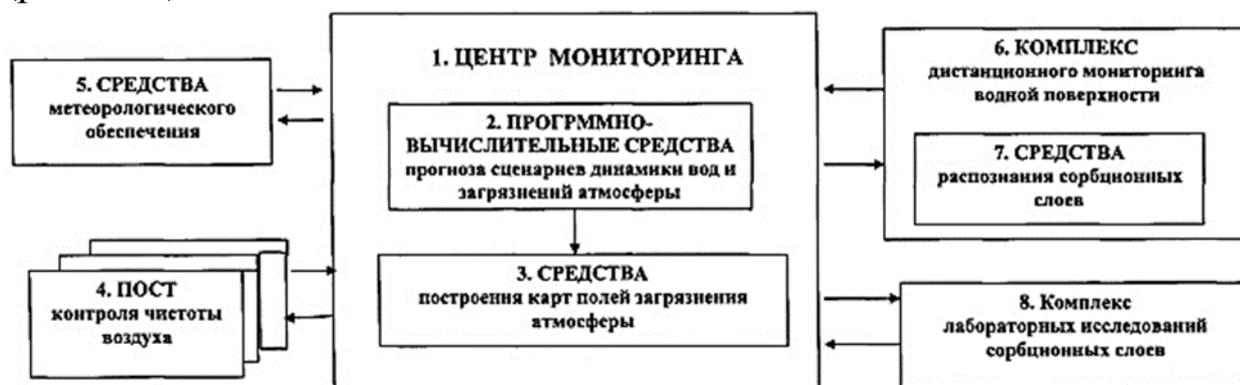


Рис. 113. Структура и средства мониторинга

Физической основой дистанционного метода служит естественное (Солнца, Земли) или искусственное (созданное человеком) электромагнитное излучение. Выделяют диапазоны рентгеновских излучений, ультрафиолетовых, видимых, инфракрасных и радиоволн. Электромагнитные волны, излучаемые самим объектом или отражаясь от его поверхности, несут различную информацию о нем, которая фиксируется на материалах съемки. Материалы съемок могут быть представлены фотографическими, телевизионными, сканерными, радиолокационными и другими изображениями.

**Методы наземного слежения.** В системе наземного слежения, кроме дистанционного зондирования, мониторинг осуществляется путем стационарных, полустационарных и маршрутных наблюдений. По методам получения информации широко используются **геохимический, геофизический, индикационный методы.**

При **геофизическом методе наблюдения** проводятся в стационарных и полустационарных условиях с применением точных измерительных приборов по специальной программе и методике.

Программа включает инструментальное определение элементов радиационного, теплового и водного балансов, исследование тепло- и влагообмена между компонентами природной среды, водно-теплового режима и его влияния на продуктивность экосистем. Анализ данных, сравнение структуры балансов ненарушенной и нарушенной (трансформированной) территорий позволяет оценить возможные негативные последствия хозяйственной деятельности человека.

Таким образом, сущность геофизического метода состоит в изучении протекающих в экосистемах процессов на основе использования балансового подхода.

При **геохимическом методе в стационарных и полустационарных условиях** изучается поступление элементов естественным путем и в результате хозяйственной деятельности человека. Выявляется интенсивность их миграции в водной и в воздушной среде. Сопоставляется состав растворенных веществ в экосистемах различной степени антропогенной трансформации.

В данном случае рассматривается круговорот элементов в биологической среде и изменения этого круговорота под влиянием техногенеза. При анализе рассматриваются все основные компоненты среды: воздух, атмосферные осадки, поверхностные и грунтовые воды, горные породы, почвы, растения и др.

Геохимический метод дает возможность определить закономерности изменения химического состава природных компонентов, природных комплексов и экосистем. А также определить их устойчивость к различным веществам (или загрязнителям) и способность к самоочищению, выявить скорости распространения и пространственные масштабы загрязнения.

**Индикационный метод** заключается в определении состояния одного объекта по состоянию другого, связанного с первым и более доступного для изучения. Ведущую роль играет в данном случае, биоиндикация, то есть выявление изменений природной среды с помощью живых организмов или сообществ, а главным индикатором выступает растительный покров. Растительный покров позволяет выявить изменения по четырем характеристикам: физиологическому, морфологическому, фитоценоотическому и флористическому. Первые два дают информацию преимущественно об одно-моментных состояниях среды, последние два - о многолетних интервалах антропогенного воздействия.

Одними из наиболее разработанных методов биоиндикации является (дендроиндикация) выявление изменений природной среды с помощью изучения хода прироста деревьев (особенно хвойных). Это один из немногих методов, позволяющих получить непрерывную информацию о развитии процессов за многолетний период. Ее анализ дает возможность установить сроки возникновения изменений природы и скорости их формирования во времени и пространстве. По величине колебания прироста можно судить о глубине трансформации природных систем, определить границы распространения и тенденцию развития изучаемого процесса.

Другой метод биоиндикации – лишеноиндикация, то есть выявление изменений природной среды с помощью изучения эпифитных лишайников. Интенсивность загрязнения среды определяется с помощью шкалы, составленной по степени чувствительности лишенофлоры к загрязнению.

Основной недостаток биоиндикации – это необходимость учета действия многих факторов, что в ряде случаев затрудняет его применение. Поэтому в настоящее время формируется новое направление мониторинговых наблюдений - это ландшафтная индикация, то есть выявление состояния природной среды (прежде всего загрязнения) по изменению составных частей и структуры ландшафта. В качестве главного индикатора выступает нарушение горизонталь-

ной и вертикальной структур природных комплексов (например, выпадение отдельного элемента). С позиции ландшафтного подхода необходимо сопряженное изучение нескольких индикаторов, а также выявление структуры геосистем.

Формирование новой структуры часто свидетельствует о сильном антропогенном изменении природной среды. Например, в зоне воздействия крупных ТЭС могут быть выделены зоны сплошных нарушений растительности и локально-очаговых нарушений геосистем. В данном случае, информативность индикационного метода возрастает при использовании био-, и геоинформационного подхода.

**Моделирование как метод получения мониторинговой информации.** Пока антропогенное влияние на природную среду носило в основном локальный характер его оценка и прогноз могли быть получены с использованием методов **импактного мониторинга**. Однако по мере распространения антропогенного влияния на региональный и глобальный уровень, локальных (фрагментарных) наблюдений оказалось недостаточно, поскольку выявить эффект техногенеза более крупного масштаба по этим данным не представляется возможным. В то же время экспериментировать с биосферой, меняя тем или иным образом условия ее функционирования, на региональном и тем более на глобальном уровне человек не может, так как это слишком большой риск. В этой ситуации наиболее перспективным путем решения проблемы прогнозирования и поиска путей преодоления опасных тенденций развития биосферы является математическое моделирование процессов, протекающих в биосфере (рис. 114).

Существует множество математических моделей для описания процессов протекающих в биосфере. В экологии наиболее часто используются следующие группы моделей: дескриптивные, оптимизационные, имитационные.

Дескриптивные модели предназначены для описания различных процессов. Например, такие модели позволяют определить численность популяции животных через определенное время, или дают возможность предсказать, как при том или ином мероприятии будет меняться ход эпидемии, то есть, как будет меняться число заболевших и т.д.

В случае, когда необходимо принятие решений по управлению процессом, дескриптивных моделей оказывается недостаточно. То-

гда используются оптимизационные модели, поскольку они позволяют не только описывать происходящие процессы, а также управлять процессом. Часто оптимизационное моделирование применяется при разработке эколого-экономических моделей, поскольку они позволяют выбрать оптимальную политику хозяйствования. Например, размещение предприятий при отраслевом или территориальном планировании с учетом их сырьевых возможностей, укрупнении предприятий, управлении запасами, рациональном природопользовании и др.

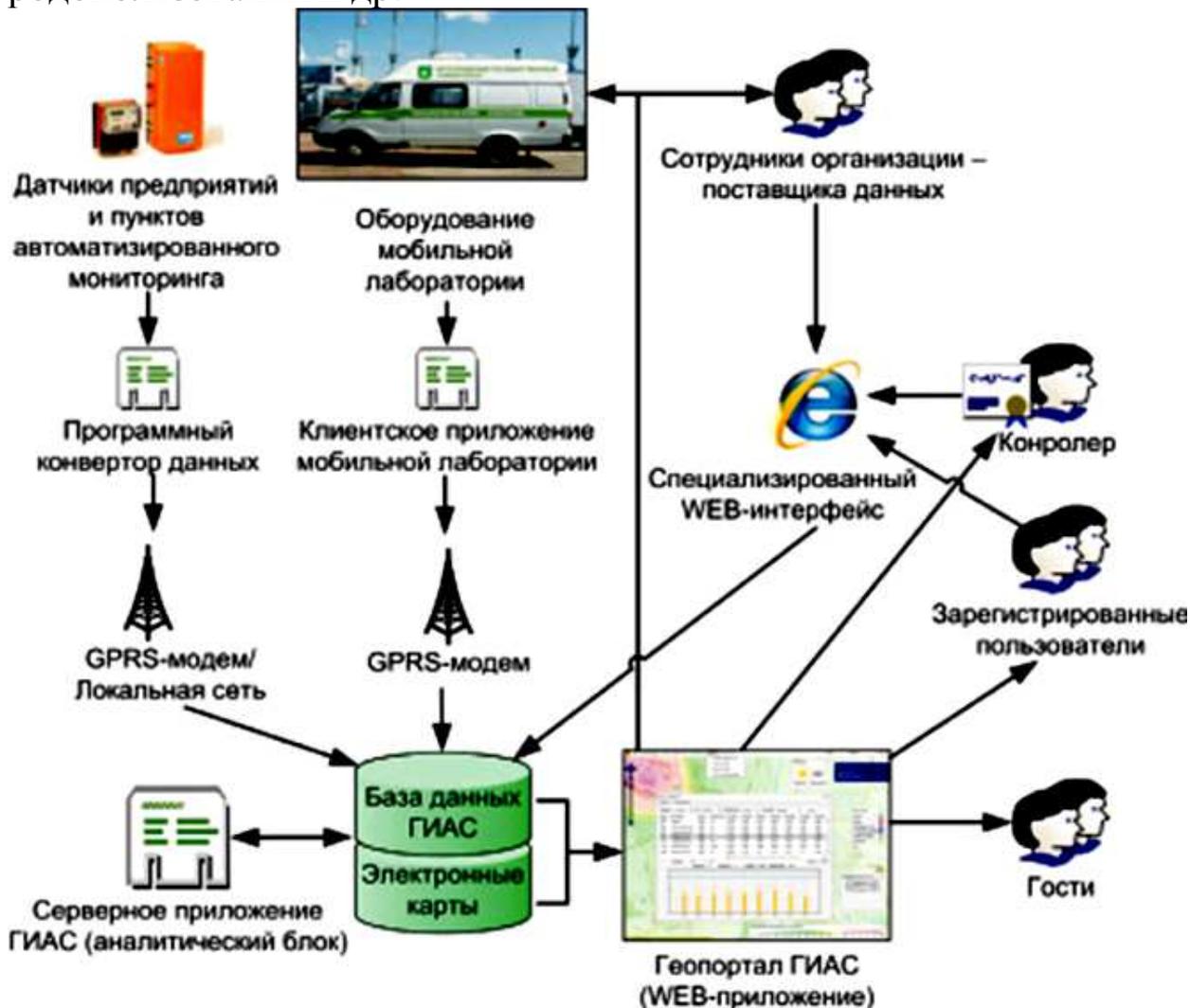


Рис. 114. Специализированный WEB-интерфейс

*Имитационные модели* предназначены для «проигрывания» возможных вариантов поведения (смены состояний) природных систем под влиянием изменения внешних факторов. Они позволяют логически увязать эмпирические знания о различных процессах, протекающих в природных системах, и на основе эксперимента по-

лучить непротиворечивые количественные данные об их изменениях во времени и пространстве. Имитационные модели используются: а) как средство изучения систем, выявления и анализа закономерностей их функционирования; б) для получения количественной оценки происшедших изменений природных объектов; в) как средство прогнозирования поведения систем под влиянием предполагаемых внешних факторов.

**Картографический мониторинг.** Человек издавна применяет картографические изображения для решения своих народно-хозяйственных задач. **С научной точки зрения картографический метод исследования предусматривает следующие виды анализа:**

- **визуальный анализ** – в процессе которого исследователь получает общее представление об объектах или явлениях, закономерностях их размещения, о пространственных взаимосвязях с другими объектами или явлениями, об их особенностях и динамике;

- **картометрический анализ** заключается в измерении и исчислении по картам количественных характеристик явлений (длина, ширина, площадь, расстояния, объем, координаты, положение в рельефе и т.д.);

- **графический анализ** заключается в исследовании явлений при помощи графических построений, выполненных по картам. Такими построениями могут быть профили, разрезы, блок-диаграммы, розы направлений и др.;

- **при математико-статистическом анализе** рассматриваются однородные множества случайных величин, изменяющихся в пространстве. Их значения определяются по картам и составляют статистические совокупности. Они могут быть представлены различными параметрами окружающей среды. Например, температурой, концентрацией газов, площадью распространения и др. По ним в процессе обработки вычисляются средняя арифметическая, мода, медиана, коэффициент корреляции и др.;

- **математическое моделирование** по данным взятым с карт предусматривает создание пространственных моделей явлений или процессов с помощью различных компьютерных программ и составление геоизображений в электронном виде. Известно, что большинство явлений и процессов в природе связаны между собой функциональными зависимостями и могут рассматриваться как функции пространства и времени, что позволяет при моделирова-

нии «проигрывать» различные экологические ситуации и составлять прогнозы.

В настоящее время картографический метод исследования широко применяется в системе мониторинга и занимает важное место, поскольку эффективность использования данных, полученных в результате наблюдений, существенно возрастает, если они представлены в виде карт. С помощью карт можно осуществлять контроль, оценивать и прогнозировать состояние природной среды. **Реализация картографического мониторинга состоит из следующих этапов:**

а) создание фонда картографической информации, содержащего различные карты, составленные на основе имеющихся к началу организации наблюдений материалов;

б) сбор, обработка и систематизация данных аэрокосмических и наземных наблюдений с целью их картографирования;

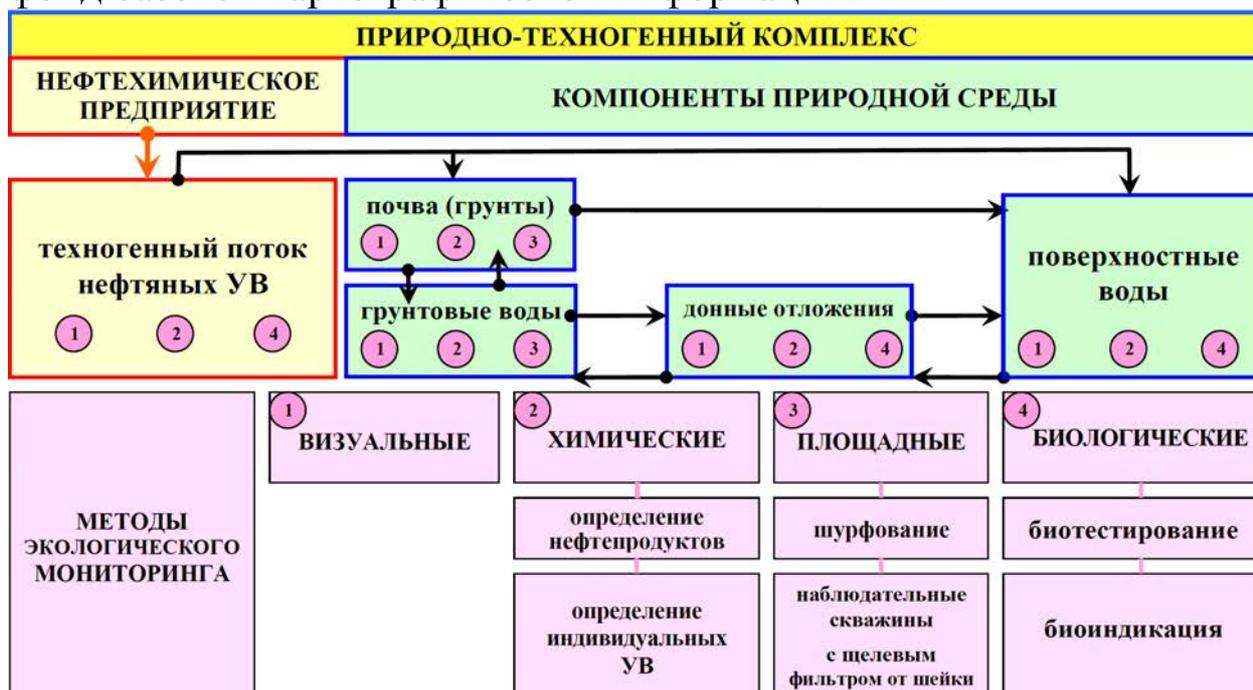
в) перевод обработанных данных в картографическую форму, то есть построение динамических карт наблюдаемых явлений, условий их распространения и происходящих при этом изменений;

г) анализ построенных карт с целью выявления закономерностей распространения наблюдаемых явлений, оценки и прогноза состояния природной среды.

**Особую ценность представляют оперативные карты опасных явлений**, составленные в крупном масштабе (1 : 100 000 – 1 : 1000 000). Они создаются по отпечаткам аэрокосмических снимков и отражают внешние условия, а также закономерности распространения и развития наблюдаемых процессов. Так, картографическое обеспечение мониторинга лесных пожаров предусматривает создание карт, на которых указываются очаги скрытых и явных пожаров, отмечается направление и скорость ветра, районы развития гроз, участки формирования торфяно-болотных ландшафтов, показатели влажности надпочвенного и почвенного покровов и т.п. Другими словами, на этих картах показывают факторы пожарной опасности, выявляют пожароопасные территории, определяют возможные ареалы и вероятную интенсивность возгорания лесных насаждений (рис. 115).

Оперативные мониторинговые карты являются основой для оповещения заинтересованных организаций, для планирования и проведения природоохранных мероприятий. Эти карты вместе с результатами анализа должны не только вовремя направляться потре-

бителям, но и одновременно пополнять (на основе обратной связи) фонд базовой картографической информации.



**Рис. 115. Природно-техногенный комплекс оперативного мониторинга**

В ряде конкретных случаев картографический мониторинг может принимать более простые формы. Например, для выявления источников загрязнения атмосферы городов достаточно иметь геохимические карты, составленные по результатам изучения снегового покрова. Сравнение подобных карт с данными почвенно-геохимических исследований позволяет определить происхождение геохимических аномалий и на этой основе выявить наиболее опасные источники загрязнения (рис. 116).

**Аэрокосмический мониторинг.** Аэрокосмический мониторинг относится к дистанционному мониторингу. Физической основой дистанционного метода служит естественное (Солнца, Земли) или искусственное (созданное человеком) электромагнитное излучение. Выделяют диапазоны рентгеновских излучений, ультрафиолетовых, видимых, инфракрасных и радиоволн (рис. 117). Электромагнитные волны, излучаемые самим объектом или отражаясь от его поверхности, несут различную информацию о нем, которая фиксируется на материалах съемки. Материалы съемок могут быть представлены *фотографическими, телевизионными, сканерными, радиолокационными и другими изображениями.*

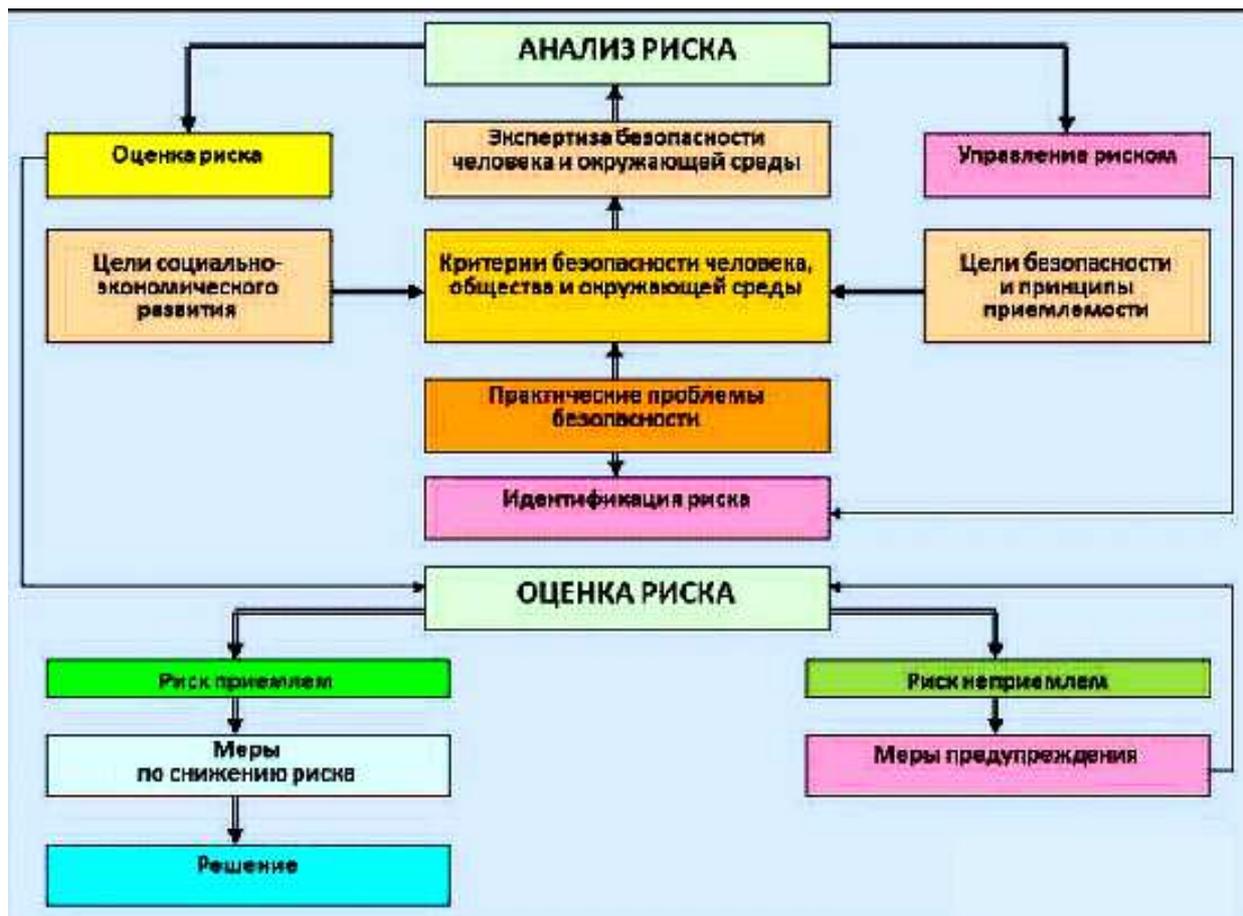


Рис. 116. Схема анализа и оценки оперативного мониторинга техногенных рисков

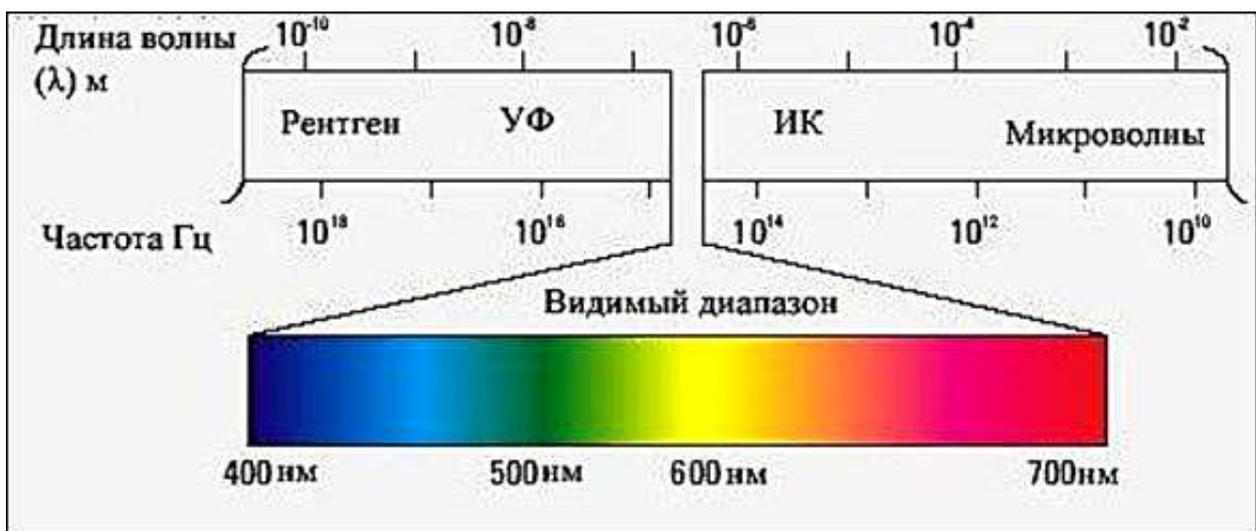


Рис. 117. Диапазоны длин электромагнитных волн (мкм)

**Фотографические изображения** – это уменьшенные, наглядные образные копии объектов и явлений, получаемые посредством регистрации их собственного или отраженного излучения на светочувствительных материалах. Их получают разными способами. При аэрофотосъемке - с помощью специальных аэрофотоаппаратов, установленных на самолетах, вертолетах, воздушных шарах. Из космоса съемки ведут с применением более сложных фотографических систем, оснащенных, как правило, несколькими объективами, дающими изображения одновременно в разных зонах спектра электромагнитного излучения. При подводных съемках дна океанов и морей фотокамеры опускают на глубину в особых водонепроницаемых боксах или буксируют по грунту на специальных “санях”.

Фотоснимки могут быть сделаны в видимой, ближней инфракрасной, инфракрасной и ультрафиолетовых зонах электромагнитных волн. При этом они могут быть черно-белыми, цветными, черно-белыми спектрзональными, цветными спектрзональными, то есть выполненными в нескольких зонах спектра и даже - для лучшей различимости некоторых объектов – ложноцветными (выполненными в условных цветах).

**Телевизионные изображения** – телеснимки, телефильмы, телепанорамы и др. – это наглядные образные копии реальных объектов и явлений, получаемые путем регистрации изображения на светочувствительных экранах передающих телевизионных камер. В интервалах между экспозициями изображение считывается электронным лучом, преобразуется в видеосигнал и по радиоканалам передается на приемную аппаратуру. Здесь видеосигнал вновь преобразуется в изображение, хотя возможен и другой вариант – запись поступающего сигнала на магнитную ленту видеомэгнитофона или на другой носитель информации.

**Телевизионная съемка** обычно ведется с борта самолета или спутника, причем захватывается довольно значительная полоса местности – от 1 до 2000 км в ширину в зависимости от высоты полета и фокусного расстояния объектива. Изображения, передаваемые с метеорологических спутников, отражают крупные атмосферные образования и основные структуры Земли. Они содержат мало подробностей и по своему разрешению сильно уступают фотоснимкам. Геометрические искажения телевизионных снимков довольно значительны, они зависят прежде всего от наклона оси съемочной камеры относительно земной поверхности.

Телевизионную съемку можно вести в нескольких зонах видимого и ближнего инфракрасного диапазонов с помощью съемочных камер, снабженных несколькими (обычно тремя) видеокамерами. По сравнению с фотографической съемкой телевизионная более оперативна и поэтому удобна для непрерывного слежения за объектами и процессами.

**Сканерные изображения** – снимки, полосы, “сцены” - уменьшенные наглядные образные копии реальных объектов, получаемые путем поэлементной и построчной регистрации их собственного или отраженного излучения. Само слово “сканирование” означает управляемое перемещение луча или пучка (светового, лазерного и др.) с целью последовательного обзора какого-либо участка.

В ходе сканерной съемки с самолета или спутника сканирующее устройство (плоское качающееся зеркало или зеркальная призма) последовательно, полоса за полосой просматривает местность поперек направления движения носителя. При этом отраженный сигнал поступает на точечный фотоприемник, и в результате получаются снимки с полосчатой или строчной структурой, причем каждая строка состоит из маленьких элементов - пикселов. Каждый такой пиксел отражает суммарную осредненную яркость небольшого участка местности (несколько десятков или сотен квадратных метров), и детали в нем неразличимы. Съемка ведется постоянно в процессе полета, и поэтому местность сканируется в виде широкой непрерывной ленты или полосы. Отдельные участки этой полосы называют “сценами”.

**К сканерным близки локационные изображения – радиолокационные**, выполняемые со спутников и самолетов, и гидролокационные, которые получают при подводной съемке дна озер, морей и океанов. Радиолокационная съемка ведется в активном режиме, (то есть с помощью искусственного излучения) обычно с помощью локаторов бокового обзора, устанавливаемых на движущемся носителе по правому и левому бортам.

**Съемка в радиодиапазоне обладает немалыми преимуществами:** облачность, туман, ночная темнота для нее не помехи. Эта съемка ведется при любой погоде и в любое время суток, причем благодаря боковому обзору на снимках прекрасно проявляется рельеф территории, отчетливо видны детали его расчленения. При съемке океанов хорошо читаются неровности и волнение водной поверхности. Радиолокация дала возможность проникнуть сквозь

мощный облачный слой Венеры и впервые подробно рассмотреть рельеф этой планеты.

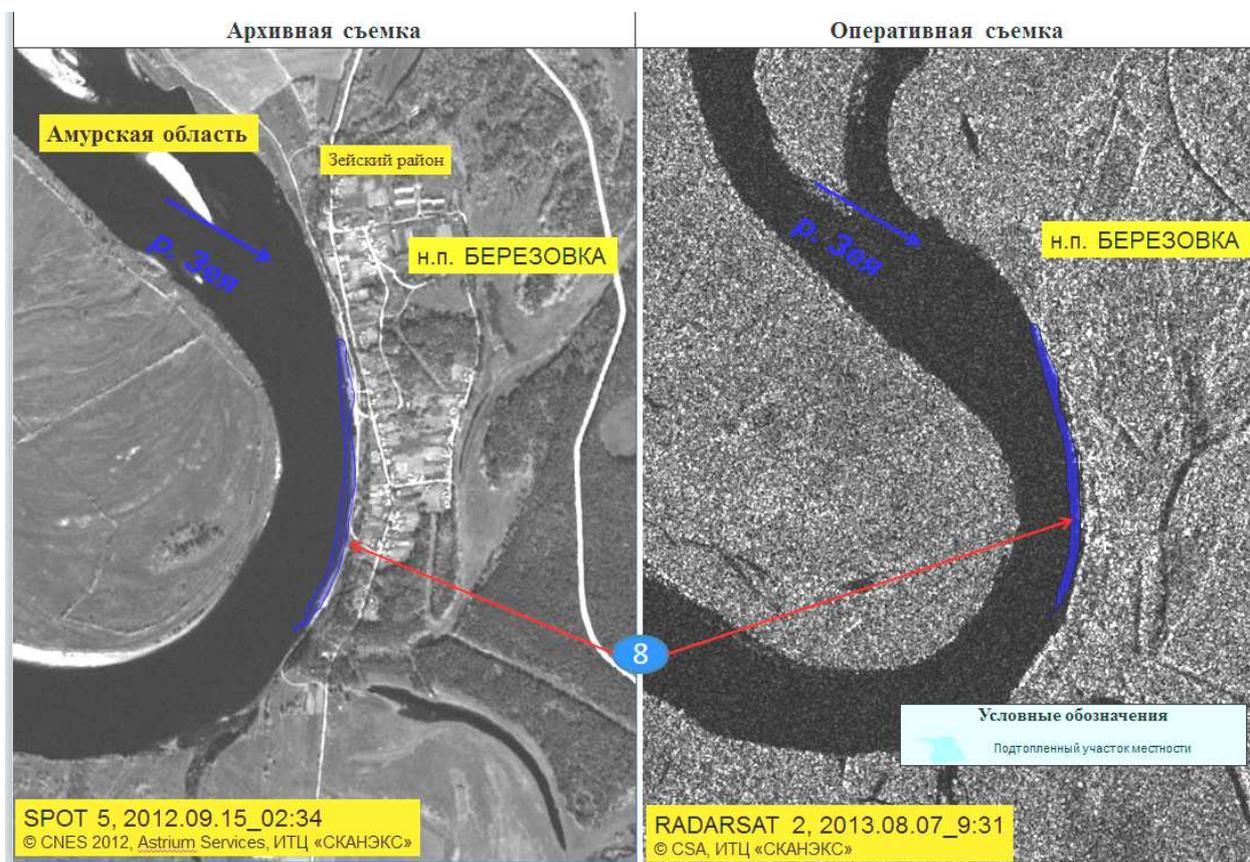
*В дистанционном мониторинге первая задача получение высококачественных материалов съемки, вторая – это дешифрирование снимков. Дешифрирование – это процесс обнаружения, распознавания, интерпретации изображений, интересующих объектов и явлений, т.е. это извлечение необходимой информации из материалов съемки.*

Каждый объект или явление имеет свои дешифровочные признаки, зная которые дешифровщик может получить интересующую информацию. Дешифровочными признаками могут быть форма, размер, цвет, структура, тень, которые являются признаками объекта и несут информацию о самом объекте. Такие признаки называются прямыми. Многие объекты или явления не находят прямого отображения на снимках. Дешифрирование таких объектов и явлений проводится косвенно, то есть через прямые признаки других объектов, которые указывают на наличие или свойства первых, а вторые в этом случае будут называться индикаторами. Например, облачность может указывать на наличие течения в океане, а также холодное или теплое оно. Часто растительность служит индикатором при дешифрировании почвенного покрова, его химического состава, увлажненности. Также в качестве индикатора растительность используют при изучении геолого-геоморфологического строения земли, экологической оценке территорий и др.

*Аэрокосмический мониторинг* позволяет: выявлять очаги и характер нарушений объектов природной среды; устанавливать и картографировать степень, скорость и пространственные масштабы нарушения (в том числе загрязнения) природной среды; оперативно оценивать состояние ее компонентов и составлять прогноз возможных последствий хозяйственной деятельности (рис. 118).

Для получения информации о изменениях в состоянии природной среды необходимо сопоставление аэрокосмических изображений одной и той же территории через определенные промежутки времени. Оно производится как визуально, так и инструментально. Автоматическое сопоставление выполняется методом анализа различий с последующей их интерпретацией или методом машинной классификации с последующим сравнением полученных результатов.

*В настоящее время в аэрокосмическом мониторинге осуществляют шесть основных видов съемок: фотографическая; телевизионная; спектрометрическая индикация; инфракрасная индикация; микроволновая и радарная индикация.*



**Рис. 118. Космические снимки представленные ИТЦ «СКАНЭКС» небольшой территории Зейского района Амурской области**

При дешифрировании на снимках хорошо отражаются многие виды антропогенного воздействия – это карьеры, горные выработки, распаханность земель, нарушение лесной растительности, искусственные водоемы, гидротехнические сооружения и др. это позволяет широко использовать снимки в экологическом мониторинге природной среды для выявления степени хозяйственной освоенности территорий, контроля последствий антропогенного воздействия и выполнения мероприятий по восстановлению природных богатств. Например, в инфракрасной зоне хорошо просматриваются участки загрязнения водоемов сточными водами. По тоновым контрастам, которые отображают температурные контрасты, четко выделяются источники загрязнения. При этом нагретые сточные воды

выделяются светлым тоном и можно проследить площадь их распространения. Инфракрасные изображения позволяют регистрировать пятна нефти на поверхности морей и определять площадь их распространения. По тону изображения можно судить о концентрации и качественном составе загрязняющих веществ.

*На космических снимках* хорошо прослеживаются загрязнения атмосферного воздуха разных типов – города, отдельные промышленные предприятия, пожары, то есть снимки позволяют распознать выбросы промышленных предприятий, концентрации дымовых факелов, пылевые бури и т.д. Так, с помощью космической съемки впервые обнаружены явления слияния промышленных выбросов в атмосферу от нескольких крупных городов. Например, в августе 1970 года в Западной Европе образовалось огромное дымовое облако (шириной не менее 200 км), которое в виде полосы протягивалось от Южной Англии, через Северную Францию, Бельгию, Голландию, Германию на расстоянии свыше 700 км.

Наблюдения из космоса позволяют осуществить контроль лесного фонда. На инфракрасных снимках удастся выявить зоны возгорания при сплошной задымленности, определить зоны затухания и осуществлять контроль распространения пожара. Инфракрасная съемка позволяет распознавать не только очаги пожара, но и наличие облаков, необходимых для борьбы с пожарами, так как борьбу с пожарами можно вести и с помощью искусственно вызванного дождя. Пожары могут возникнуть из-за деятельности человека, а также грозами. Спутниковая аппаратура помогает заранее предсказывать вероятность появления лесного пожара по анализу перемещения гроз над землей.

*С помощью инфракрасной съемки* можно с большой точностью определить время начала извержения вулкана, так как в период активизации вулкана температура быстро возрастает. По этой же аналогии, инфракрасная съемка позволяет выявить очаги самовозгорания в горнорудных районах на отвалах горных пород.

Загрязнение почв промышленными и другими выбросами приводит к изменению отражательной способности почв, вследствие этого меняются и дешифровочные признаки почв. По прямым дешифровочным признакам можно определить площадь, форму, источник загрязнения и т.д., то есть то что хорошо отобразилось на снимке по изменению тона и структуры почвы.

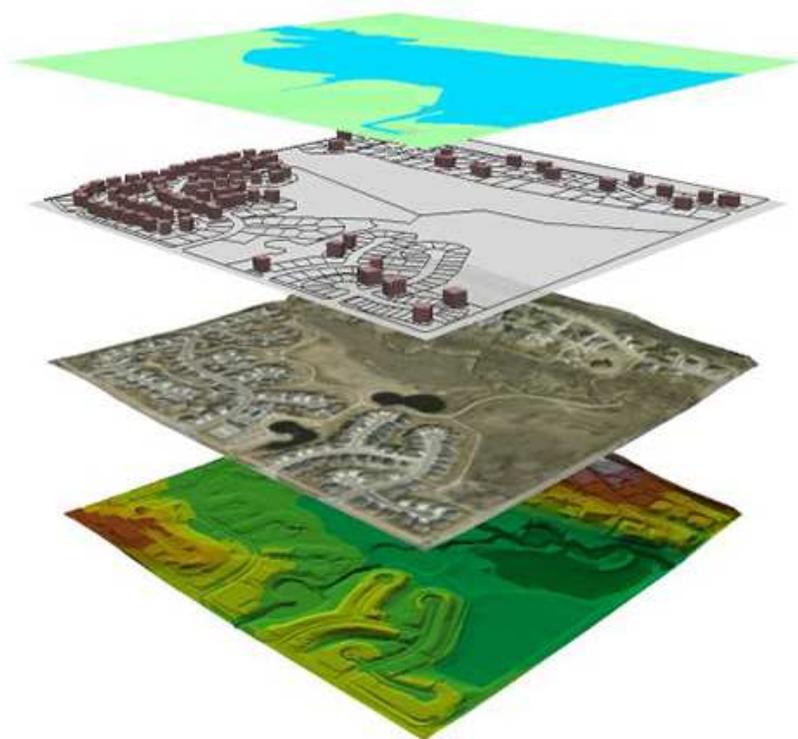
Если же загрязнение не нашло прямого отражения на снимке, иногда оно может быть определено косвенным путем. Отрицательное воздействие на почву проявляется в изменении растительности. Например, уменьшение размеров ареала растительности, замедленном развитии, смене растительных сообществ.

В зависимости от решаемых задач *аэрокосмический мониторинг подразделяют на три вида: дозорный (или сигнальный), целевой и комплексный.*

*Дозорный (сигнальный)* – оповещающий о необходимости организации детальных наблюдений за каким-либо объектом или районом. Он устанавливает факт появления или исчезновения объекта, а также изменений контролируемых характеристик. Информация в этом случае служит сигналом для организации более детальных исследований.

*Целевой мониторинг* – наблюдение за конкретным объектом, характер которого определяет вид, масштаб снимков, сроки их получения, способы обработки и форму предоставления материалов.

*Комплексный (картографо-аэрокосмический)* мониторинг имеет самостоятельное значение. Для него характерны дистанционное наблюдение комплекса взаимосвязанных объектов и преимущественно картографическая форма предоставления результатов наблюдений (рис. 120).



**Рис. 120. Комплексные картографо-аэрокосмические карты**

*Мониторинг атмосферного воздуха.* Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха проводятся в районах интенсивного антропогенного воздействия (в городах, промышленных и агропромышленных центрах и т.д.) и в рай-

онах, удаленных от источников выбросов **поллютантов (фоновые наблюдения)**. Их основная задача – определение уровня загрязнения атмосферы, выявление источников выбросов, получение информации, необходимой для оценки и прогнозирования состояния воздушной среды. **Для контроля состояния воздуха в населенных пунктах используются три категории постов наблюдений:**

- стационарные посты предназначены для регулярного отбора проб воздуха проводимых по графику с последующим проведением лабораторного анализа, а также для непрерывной регистрации содержания поллютантов в атмосфере;

- маршрутные посты предназначены для отбора проб воздуха в фиксированных точках местности с помощью передвижной лаборатории (обычно установленной на автомашине). Они в первую очередь предназначены для детального изучения загрязнения атмосферного воздуха в отдельных районах;

- передвижные (подфакельные) посты служат для отбора разовых проб в пределах санитарно-защитной зоны предприятия, под его дымовыми и газовыми факелами с целью определения зоны их влияния. Они выбираются каждый раз на различных расстояниях от источника загрязнения в зависимости от режима ветра.

Выбор мест расположения постов наблюдений является весьма ответственным этапом и осуществляется совместно учреждениями гидрометеорологической и санитарно-эпидемиологической служб.

Независимо от категории посты должны размещаться на открытой и хорошо проветриваемой территории, имеющей непыльную поверхность в виде асфальта, твердого грунта, газона. Это необходимо для исключения искажения результатов измерений. Для размещения стационарных и маршрутных постов необходимо знать состояние атмосферного воздуха, для чего должны проводиться предварительные исследования. Назначение маршрутных постов - выявление роли разных источников (промышленных, бытовых, автотранспорта) в загрязнении атмосферного воздуха. С учетом таких исследований посты наблюдения размещают в центральной части населенного пункта, жилых районах с разным типом застройки, зонах отдыха, на территориях, которые примыкают к магистралям с интенсивным движением автотранспорта.

Стационарные пункты наблюдений оснащены лабораторными павильонами, например, “Пост-1” и “Пост-2”, которые оборудованы специальными приборами для отбора проб воздуха, выявления

концентрации некоторых газов и измерения ряда метеорологических величин. Количество этих постов определяется в зависимости от численности населения (в городах с количеством жителей в 200-500 тыс. человек сеть должна состоять из 3-5 постов, а в городах с населением более одного млн. человек - 10-20), площади населенного пункта, рельефа местности, уровня развития промышленности и других факторов. Наблюдения по полной программе выполняются непрерывно (при использовании автоматических газоанализаторов) или дискретно в 1, 7, 13, 19 часов по местному декретному времени.

**Подфакельные наблюдения** осуществляют учреждения санитарно-эпидемиологической службы. Отбор проб при подфакельных наблюдениях должен проводиться с учетом направления ветра, общее число точек устанавливаются с учетом высоты и мощности выброса, особенностей размещения селитебных территорий. Важно учесть и такое обстоятельство: по обе стороны от факела должны быть две точки справа и слева от линии перпендикулярной оси факела. Для проведения детальных исследований подфакельные наблюдения проводятся на расстоянии 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 15 и 30 км (рис. 121).

Маршрутный пост наблюдений - место на определенном маршруте в городе. Он предназначен для регулярного отбора проб воздуха, когда невозможно или нецелесообразно установить стационарный пост или необходимо более детально изучить состояние загрязнения воздуха в отдельных районах.

Передвижные лаборатории для мониторинга атмосферы городов, сельской местности, промышленных зон монтируются на базе легковых и грузовых автомобилей, прицепов.



Производительность - около 5000 отборов проб воздуха в год, в день - 8-10 отборов.

**Рис. 121. Передвижная лаборатория для подфакельных наблюдений**

Известно, что при неблагоприятных метеорологических условиях нередко может иметь место увеличение содержания в атмосферном воздухе тех или иных загрязняющих веществ. Поэтому в период неблагоприятных условий содержание загрязняющих веществ должно исследоваться через каждые три часа. Одновременно должны отбираться пробы под факелами источников загрязнения на таких расстояниях, где отмечается максимальное загрязнение, а также на территории наибольшей плотности населения.

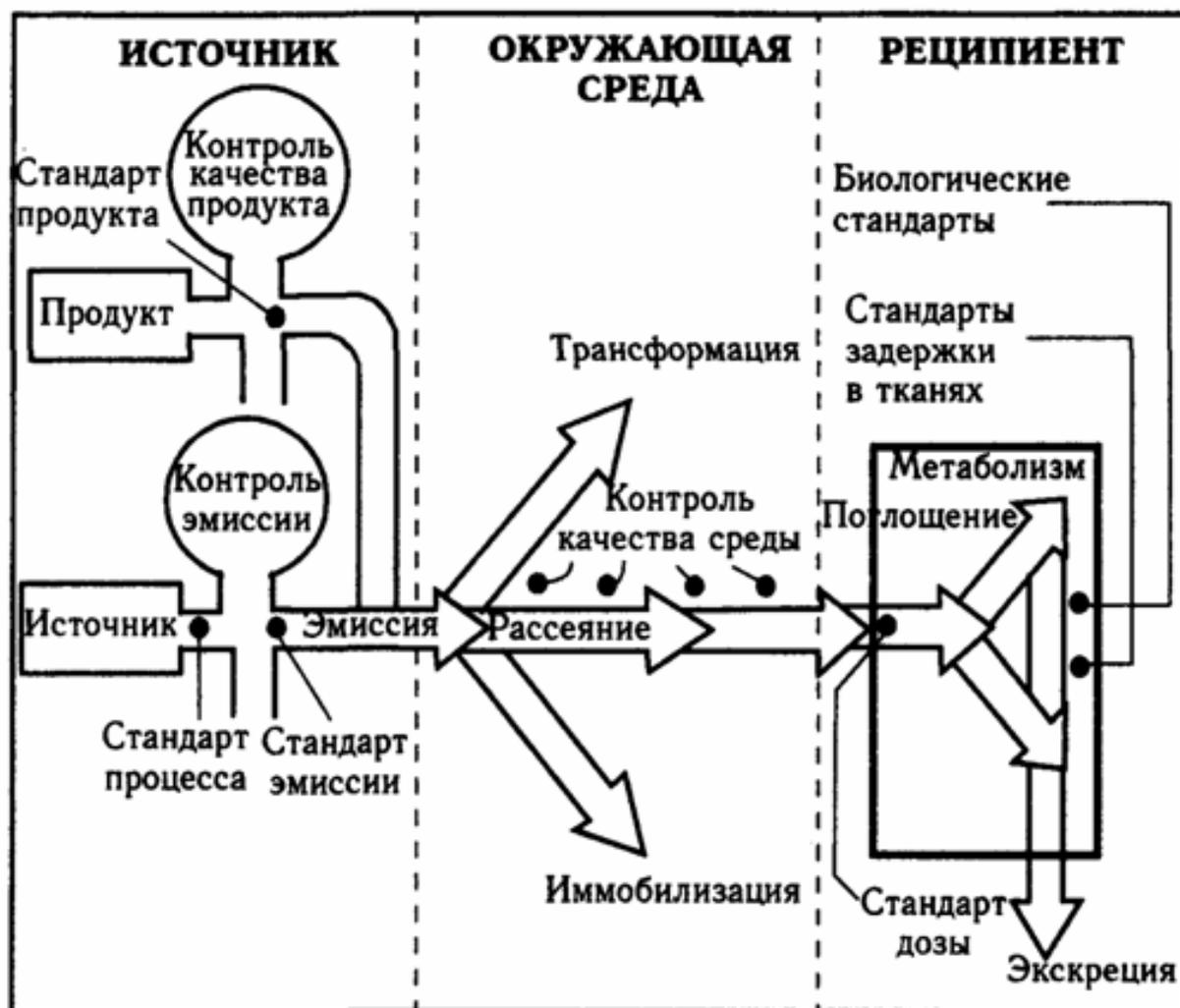
При стационарных и маршрутных наблюдениях, которые организуются в районе размещения отдельных предприятий, являющихся крупными источниками загрязнения атмосферного воздуха, отбор проб должен выявлять максимальные концентрации загрязняющего вещества.

Для того чтобы оценить фактическое загрязнение атмосферного воздуха, полученные результаты сопоставляют с предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Отбор проб для определения разовых концентраций продолжается 20 мин. На их основе устанавливают среднесуточные концентрации – среднеарифметическое значение разовых концентраций, полученных при непрерывном отборе проб в течение 24 часов. Среднемесячная концентрация загрязняющих веществ представляет собой среднеарифметическое значение всех разовых концентраций за месяц на одном посту, или среднеарифметическое значение разовых или среднесуточных концентраций за один год на одном посту.

Практически важным является вопрос об определении перечня веществ, подлежащих контролю. Перечень веществ устанавливают с учетом сведений о составе и характере выбросов вредных веществ от источников, особенностей метеорологических условий рассеивания (накопления) поллютантов.

На стационарных постах проводятся наблюдения за основными загрязняющими веществами (пылью, двуокисью серы, окисью углерода, двуокисью азота) и специфическими веществами, перечень которых устанавливается в каждом конкретном случае. Важное место отводится определению концентрации тяжелых металлов (ртути, свинца, цинка и др.), ведутся работы по организации контроля за содержанием углеводородов и озона. В зоне влияния АЭС и других источников выделения радиоактивных веществ проводится

контроль за радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха (рис. 122).



**Рис. 122. Схема пути загрязнителя с указанием пунктов стандартизации и контроля**

Обязательному контролю подлежат растворимые сульфаты – в городах с населением более 700 тыс. жителей, формальдегид и соединения свинца – в городах с населением более 500 тыс. человек, в которых, как известно, большую роль в загрязнении атмосферы играет автомобильный транспорт. В городах, где имеются предприятия черной и цветной металлургии, должны определяться металлы, в населенных пунктах с числом жителей более 100 тыс. человек – бенз(а)пирен. В тех городах, которые расположены вблизи крупных сельскохозяйственных территорий, на которых используются пестициды, следует определять в атмосферном воздухе последние. В небольших населенных пунктах, где проводятся эпизодические

наблюдения, число исследований за год должно быть не менее 200 для каждого поллютанта.

Ценную информацию о состоянии атмосферы может дать аэро-космическая съемка, которая позволяет выявить крупные источники загрязнения, установить ареалы загрязнения воздушной среды на региональном и глобальном уровнях.

Информация, полученная в процессе наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, по степени срочности подразделяется на экстренную, оперативную и режимную. Экстренная информация содержит сведения о резких изменениях уровня загрязнения воздуха. Она немедленно передается местным органам для принятия соответствующих решений. Оперативная информация содержит обобщенные результаты наблюдений за месяц, а режимная - за год. Оперативные и режимные данные используются для прогнозирования загрязнения воздуха и планирования мероприятий по охране окружающей природной среды.

При составлении прогноза загрязнения атмосферы учитывается, что рассеивание поллютантов в атмосфере и их накопление в первую очередь обусловлено метеорологическими условиями. Поэтому, при наличии прогноза метеоусловий и выявлении зависимостей между ними и загрязнением, можно рассчитать уровень последнего. В настоящее время задача прогноза реализуется либо макро-, либо в мезомасштабе. Базовой информацией при этом служат общие прогнозы погоды, детализированные с учетом специфики, вносимой городской застройкой. Наиболее информативными параметрами для прогноза загрязнения атмосферы являются: скорость и направление ветра, температурная стратификация, турбулентный обмен и осадки. На основе их комбинаций рассчитывается метеорологический потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), прогноз которого служит важнейшей предпосылкой для составления прогноза загрязнения воздуха.

Прогнозирование ПЗА и уровня загрязнения позволяет принять определенные меры по регулированию выбросов в атмосферу с целью предотвращения высоких концентраций. При неблагоприятных метеоусловиях в периоды опасного для населения загрязнения предприятия должны принять меры по снижению выбросов в атмосферу.

## 6.5. Организация наблюдений и контроля загрязнений атмосферного воздуха

В крупных промышленных центрах степень загрязнения атмосферного воздуха может в ряде случаев превысить санитарно-гигиенические нормативы. Характер временной и пространственной изменчивости концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе определяется большим числом разнообразных факторов.

Знание закономерностей формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха, тенденций их изменений является крайне необходимым для обеспечения требуемой чистоты воздушного бассейна. Основой для выявления закономерностей служат наблюдения за состоянием загрязнения воздушного бассейна. От возможностей и качества проводимых наблюдений зависит эффективность всех воздухоохраных мероприятий. Данные мероприятия проводит служба наблюдений и контроля над состоянием атмосферного воздуха. Структура службы наблюдений и контроля над состоянием атмосферного воздуха продемонстрирована на рисунке 123.



**Рис. 123. Структура службы наблюдений и контроля над состоянием атмосферного воздуха**

Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха проводятся в районах интенсивного антропогенного воздействия (в городах, промышленных и агропромышленных центрах и т.д.) и в

районах, удаленных от источников загрязнения (в фоновых районах).

Наблюдения в районах, значительно удаленных от источников загрязнения, позволяют выявить особенности отклика биоты на воздействие фоновых концентраций загрязняющих веществ.

Как правило, фоновые наблюдения по специальной программе фонового экологического мониторинга проводятся в биосферных заповедниках и заповедных территориях.

В биосферных заповедниках осуществляется оценка и прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха путем анализа содержания в нем взвешенных частиц, свинца, кадмия, мышьяка, ртути, бенз(а)пирена, сульфатов, диоксида серы, оксида азота, диоксида углерода, озона, ДДТ и других хлорорганических соединений.

Программа фонового экологического мониторинга включает также определение фонового уровня загрязняющих веществ антропогенного происхождения во всех средах, включая биоты. Кроме измерения состояния загрязнения атмосферного воздуха, на фоновых станциях производятся также метеорологические измерения.

Сеть фоновых станций, расположенная на территории нашей страны, включена в Глобальную систему мониторинга окружающей среды (ГСМОС), функционирующую в соответствии с программой ООН по проблемам окружающей среды (ЮНЕП) под эгидой ЮНЕП. Информация, получаемая с фоновых станций, позволяет оценивать состояние и тенденции глобальных изменений загрязнения атмосферного воздуха. Фоновые наблюдения проводятся также с помощью научно-исследовательских судов в морях и океанах. ***На фоновых станциях исследуются и уточняются:***

- критерии создания сети наблюдений;
- перечни контролируемых примесей;
- методики контроля и обработки данных измерений;
- способы обмена информацией и приборами;
- методы международного сотрудничества.

При этом по международным соглашениям станция базисного и регионального мониторинга должна размещаться на расстоянии 40-60 км от крупных источников загрязнения с подветренной стороны. На территориях, примыкающих к станции, в радиусе 40-400 км не должен изменяться характер деятельности человека. Было также

установлено, что пробы воздуха должны отбираться на высоте не менее 10 м над поверхностью растительности.

На станциях фонового мониторинга наблюдение за качеством атмосферного воздуха осуществляется по физическим, химическим и биологическим показателям. Необходимость организации контроля загрязнения атмосферного воздуха в зоне интенсивного антропогенного воздействия определяется предварительными экспериментальными (в течение 1-2 лет) и теоретическими исследованиями с использованием методов математического и физического моделирования (рис. 124).



**Рис. 124. Система мониторинга химического состава атмосферы**

Такой подход позволяет оценить степень загрязнения той или иной примесью атмосферного воздуха в городе или любом другом населенном пункте, где имеются стационарные и передвижные источники выбросов вредных веществ.

Обычно расположение источников выбросов и их параметры известны или их можно определить. Зная метеорологические параметры, в том числе "розу ветров" можно с использованием матема-

тических и физических моделей рассчитать поля концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для любой ситуации. Но адекватность принятых моделей реальным ситуациям все равно должна проверяться экспериментально.

Для получения репрезентативной информации о пространственной и временной изменчивости загрязнения воздуха, нужно предварительно провести обследование метеорологических условий и характера пространственной и временной изменчивости загрязнения воздуха с помощью передвижных средств. Для этого чаще всего используется передвижная лаборатория, производящая отбор, а иногда и анализ проб воздуха во время остановок. Такой метод обследования называется рекогносцировочным. Он находит достаточно широкое применение за рубежом.

На карту-схему города (населенного пункта, района) наносится регулярная сетка с шагом 0,1; 0,5 или 1,0 км. На местности по специально разработанной программе случайного отбора проб отбираются и анализируются пробы в точках, совпадающих с узлами сетки, наложенной на карту-схему. Для получения статистически достоверных средних значений измеренных концентраций проводится анализ комбинаций точек на сетке, объединенных в квадраты, например, площадью (2-4) км<sup>2</sup>, с учетом направлений ветра по направлениям.

Такой метод позволяет выявить как границы промышленных комплексов и узлов, так и зоны их влияния. При этом обеспечивается возможность сравнения полученных результатов с расчетными данными математических моделей. Использование методов моделирования в этих работах является обязательным.

Если обнаруживается, что существует вероятность роста концентрации примеси выше установленных нормативов, то за содержанием такой примеси в выявленной зоне следует установить наблюдение. Если же такой вероятности нет и отсутствуют перспективы развития промышленности, энергетики и автотранспорта, установление стационарных постов наблюдений за состоянием атмосферного воздуха нецелесообразно. Такой вывод не распространяется на организацию наблюдений за фоновым уровнем загрязнения воздуха вне населенных пунктов.

Установив степень загрязнения атмосферного воздуха всеми примесями, выбрасываемыми существующими и намечаемыми к строительству и пуску источниками, а также характер изменения

полей концентрации примесей по территории и во времени с учетом карт загрязнения воздуха, построенных по результатам математического и физического моделирования, можно приступить к разработке схемы размещения стационарных постов наблюдений на территории города и программы их работ.

Программа разрабатывается исходя из задач каждого измерительного пункта и особенностей изменчивости концентрации каждой примеси в атмосферном воздухе. Пост наблюдений может давать информацию об общем состоянии воздушного бассейна, если пост находится вне зоны влияния отдельных источников выбросов и осуществлять контроль за источниками выбросов, если пост находится в зоне влияния источников выбросов.

При размещении постов наблюдений предпочтение отдается районам жилой застройки с наибольшей плотностью населения, где возможны случаи превышения установленных пороговых значений гигиенических показателей ПДК. Наблюдения должны проводиться за всеми примесями, уровни которых превышают ПДК.

В обязательном порядке измеряются основные, наиболее часто встречающиеся загрязняющие воздух вещества: пыль, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота. Выбор других веществ, требующих контроля, определяется спецификой производства и выбросов в данной местности, частотой превышения ПДК.

Контроль за радиоактивным загрязнением атмосферного воздуха осуществляется как на фоновом уровне, так и в зонах влияния атомных электростанций и других источников возможных выделений или выбросов радиоактивных веществ.

При контроле радиоактивного загрязнения на фоновом уровне используются существующие фоновые станции или специальные станции, установленные на расстоянии 50-100 км от возможного источника радиоактивного загрязнения. При контроле в радиусе до 25 км от возможных источников выбросов радиоактивных веществ используется как существующая сеть контроля, так и специальные посты наблюдений, где устанавливаются датчики гамма - излучения и приборы для отбора проб и анализа воздуха. Рекомендуется в зоне до 25 км иметь 10-15 специализированных пунктов контроля, оснащенных дистанционными системами и высокопроизводительными фильтрующими воздух установками, а также около 30 дополнительных стационарных пунктов контроля радиационной обстановки, оснащенных интегрирующими термолюминесцентными до-

зиметрами. При этом в пределах санитарно-защитной зоны создаются посты дистанционного контроля радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха. Подсистемы дистанционного контроля оборудуются каналами связи. Для повышения достоверности информации в каждом пункте устанавливается несколько датчиков (рис. 125).



**Рис. 125. Пункты наблюдений, станции и их классификации**

В 80-е годы 20 века на базе сетевых снегомерных съемок была создана новая сеть контроля переноса загрязняющих веществ воздушными массами. Мониторинг загрязнения территории на основе снегомерной съемки позволяет контролировать уровни загрязнения атмосферного воздуха как в незагрязненных (фоновых) районах, так и в городах, и других населенных пунктах.

Важными методами контроля так называемого трансграничного переноса глобальных потоков примесей, переносимых на большие расстояния от места выброса, является система наземных и самолетных станций, сопряженных с математическими моделями распространения примесей. Сеть станций трансграничного переноса оборудуется системами отбора газа и аэрозолей, сбора сухих и

мокрых выпадений анализа содержания примесей в отобранных пробах. ***Информация поступает в метеорологические синтезирующие центры, которые осуществляют:***

- сбор, анализ и хранение информации о трансграничном переносе примесей в атмосфере;
- прогнозирование переноса примесей на основе метеорологических данных;
- идентификацию районов выбросов и источников;
- регистрацию и расчет выпадений примесей из атмосферного воздуха на подстилающую поверхность и другие работы.

В целях сопоставимости результатов наблюдений, полученных в разных географических и временных условиях, используются единые унифицированные методы отбора и анализа проб, обработки и передачи информации. ***Информация, получаемая на сети наблюдений, по степени срочности подразделяется на три категории:***

- экстренная;
- оперативная;
- режимная.

Экстренная информация содержит сведения о резких изменениях уровней загрязнения атмосферного воздуха и передается в соответствующие (контролирующие, хозяйственные) организации незамедлительно. Оперативная информация содержит обобщенные результаты наблюдений за месяц, а режимная – за год. Информация по последним двум категориям передается заинтересованным и контролирующим организациям в сроки их накопления: ежемесячно и ежегодно.

Режимная информация, содержащая данные о среднем и наибольшем уровнях загрязнения воздуха за длительный период, используется при планировании мероприятий по охране атмосферы, установлении нормативов выбросов, оценках ущерба, наносимого народному хозяйству загрязнением атмосферного воздуха. Для того чтобы воздухоохраняющие мероприятия были эффективными, информация должна быть полной и достоверной. Полнота информации определяется числом контролируемых ингредиентов, сроками наблюдений, размещением сети наблюдений.

Достоверность информации достигается строгим соблюдением нормативных требований, обеспечивающих получение репрезента-

тивных данных, однородность информации, полноту наблюдений, правильность статистической обработки и санитарно-гигиенической оценки по данным наблюдений загрязнения атмосферного воздуха, корректность объяснения причин повышенных уровней загрязнения и тенденций (или их отсутствие) изменения уровней загрязнения атмосферного воздуха во времени и по территории, учет метеорологических условий переноса и рассеяния примесей режима выбросов в данном районе.

Достоверность информации в значительной степени зависит от ее однородности. Необходимо иметь однородный ряд наблюдений за период, для которого средние характеристики оказываются достаточно устойчивыми и слабо зависящими от новых результатов измерений. Для повышения качества воздухоохраных рекомендаций необходимо использовать данные наблюдений за более длительные сроки (5 лет).

Существующая в нашей стране сеть наблюдений загрязнения атмосферного воздуха включает посты ручного отбора проб воздуха и автоматизированные системы наблюдений и контроля окружающей среды (АНКОС). Посты наблюдений загрязнения (ПНЗ) могут быть стационарными, маршрутными и передвижными (подфакельными). С постов ручного отбора пробы для анализа доставляются в химические лаборатории. Системы АНКОС являются стационарными, они оснащены устройствами непрерывного отбора и анализа проб воздуха и передачи информации по каналам связи в центр управления и регулирования состоянием атмосферного воздуха в заданном режиме.

***Посты наблюдений загрязнения атмосферного воздуха.*** Стационарный пост наблюдений - это специально оборудованный павильон, в котором размещена аппаратура, необходимая для регистрации концентраций загрязняющих веществ и метеорологических параметров по установленной программе.

Из числа стационарных постов выделяются опорные стационарные посты, которые предназначены для выявления долговременных изменений содержания основных или наиболее распространенных загрязняющих веществ. Место для установки стационарного поста выбирается, как правило, с учетом метеорологических условий формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха. При этом заранее определяется круг задач: оценка средней месячной, сезонной, годовой и максимальной

разовой концентраций, вероятности возникновения концентраций, превышающих ПДК и др. **Перед установкой поста следует проанализировать:**

- расчетные поля концентраций по всем ингредиентам от совокупности выбросов всех стационарных и передвижных источников;
- особенности застройки и рельефа местности: перспективы развития жилой застройки и расширения предприятий промышленности, энергетики, коммунального хозяйства; транспорта и других отраслей городского хозяйства, функциональные особенности выбранной зоны;
- плотность населения;
- метеорологические условия данной местности и др.

Пост должен находиться вне аэродинамической тени зданий и зоны зеленых насаждений, его территория должна хорошо проветриваться, не подвергаться влиянию близкорасположенных низких источников (стоянок автомашин, мелких предприятий с низкими выбросами т.п.). Количество стационарных постов в каком-либо городе (населенном пункте) определяется численностью населения, рельефом местности, особенностями промышленности, функциональной структурой (жилая, промышленная, зеленая зона и т.д.), пространственной и временной изменчивостью полей концентраций вредных веществ. Так, например, исходя из численности населения, количество постов определяется следующим образом (табл. 17).

**Таблица 17. Зависимость количества стационарных постов от численности населения**

<b>Зависимость количества стационарных постов от численности населения</b>	
<b>численность населения, тыс. чел.</b>	<b>количество постов</b>
<50	1
50-100	2
100-200	3
200-500	3-5
500-1000	5-10
1000-2000	10-15
>2000	15-20

Для населенных пунктов со сложным рельефом и большим числом источников рекомендуется устанавливать один пост на каждые (5-10) км<sup>2</sup>. Чтобы информация о загрязнении воздуха учитывала особенности города, рекомендуется ставить посты наблюдений в различных функциональных зонах – жилой, промышленной и зоны отдыха. В городах с большой интенсивностью движения автотранспорта посты устанавливаются также и вблизи автомагистралей.

Для обеспечения оптимальных условий проведения стационарных наблюдений отечественной промышленностью выпускаются стандартные павильоны-посты наблюдений или комплектные лаборатории типа ПОСТ. Лаборатория ПОСТ – это утепленный, обитый дюралевыми ячейками павильон, в котором установлены комплекты приборов и оборудования для отбора проб воздуха, проведения метеорологических измерений: скорости и направления ветра, температуры, влажности. Практически все стационарные пункты контроля загрязнения оборудованы комплектными лабораториями ПОСТ-1. Выпускаются и устанавливаются более новые модификации лаборатории – ПОСТ-2 и ПОСТ-2а, которые отличаются более высокой производительностью отбора проб и степенью автоматизации.

На стационарных постах наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха и метеорологическими параметрами должны проводиться круглогодично, во все сезоны, независимо от погодных условий. ***Для постов наблюдений, как правило, устанавливаются три программы наблюдения:***

- полная (наблюдения проводятся ежедневно (выходные - воскресенье, субботы – чередуются) в 1, 7, 13 и 19 часов местного декретного времени, либо по скользящему графику: вторник, четверг, суббота – 7, 10 и 13 час.; понедельник, среда, пятница – 15, 18 и 21 час. Наблюдения предусматривают измерения содержания в воздухе как основных, так и специфических загрязняющих веществ);

- неполная (наблюдения проводятся ежедневно (воскресенья и субботы чередуются), но только в 7, 13 и 19 час. местного декретного времени);

- сокращенная (в районах, где температура воздуха ниже 45оС, наблюдения проводятся по сокращенной программе ежедневно, кроме воскресенья, в 7 и 13 час. по местному декретному времени. Наблюдения допускается проводить также в местах, где средние

месячные концентрации меньше  $1/20$  ПДК<sub>мр</sub> или меньше нижнего предела диапазона измерений примеси используемым методом).

При неблагоприятных метеорологических условиях (туман, продолжительная инверсия температур и др.) отбор проб воздуха на всех постах наблюдений должен производиться через каждые 3 час. Одновременно следует отбирать пробы под факелами основных источников загрязнения на территории наибольшей плотности населения. Подфакельные наблюдения осуществляются за характерными для данного предприятия примесями.

Стационарный пункт контроля радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха представляет собой либо стационарный павильон типа ПОСТ, либо домик размером 3 x 3 x 3 м. Он устанавливается, как правило, на специально оборудованных гидрометеорологических станциях (ГМС), огороженных металлической сеткой с размером ячеек 10 x 10 см. Площадь огороженной площадки составляет 5 x 10 м, а высота сетки – 1,2-1,5 м. Площадка должна располагаться на расстоянии не менее десяти высот до ближайшего здания и не менее 30 м от дорог. Площадка должна иметь травяной покров. Не допускается высаживание других растений, тем более кустарников и деревьев.

На территории ГМС не ближе 4 м от домика и ограды устанавливается марлевый планшет для сбора радиоактивных выпадений и термолюминесцентный дозиметр. Установку для отбора проб воздуха лучше размещать в специальной будке с жалюзи, приподнятой над поверхностью земли на 80-100 см. Выброс воздуха, прошедшего через фильтры установки типа "Тайфун", должен производиться обязательно в противоположную от планшета сторону. Если стационарный пункт не обеспечен электропитанием (трехфазное (5-10) кВт), то вместо фильтрующей установки допускается использование марлевого конуса.

Наблюдение за радиоактивностью атмосферного воздуха осуществляется систематически круглый год. Смена марли на планшетах и вертикальных экранах, а также фильтров в установках производится ежедневно в 7 час. 30 мин. утра по местному декретному времени. С фильтрующих установок фильтры могут сниматься как через 24 час. – в 7 ч 30 мин., – так и через 12 час., т.е. два раза в сутки. При двухразовом отборе установлено время работы установок: с 7 час. 30 мин. до 13 час. 30 мин. и с 19 час. 30 мин. до 1 час. 30 мин. Скорость воздуха в установке определяется с помощью расхо-

домеров УС-125 или УС-175-12 три раза в сутки: в 7 час. 30 мин., 13 час. 30 мин. и 1 час. 30 мин.

Средняя скорость воздуха, проходящего через фильтры, помещенные в кассетный фильтродержатель, определяется по формуле:

$$\bar{V} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3},$$

где:  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$  – значения скорости соответственно в 7 час. 30 мин., 13 час. 30 мин. и 1 час. 30 мин. следующих суток (км/час.).

Объем прошедшего через фильтры воздуха ( $Q$ , м<sup>3</sup>/ч) находится из соотношения:

$$Q = S \cdot \bar{V} \cdot t = 70 \cdot \bar{V} \cdot T,$$

Где:  $S$  – площадь сечения сопла измерительной насадки ( $S = 70$  см<sup>2</sup>),  $t$  – время работы установки, час.

Для определения количества воздуха, прошедшего через экран, ручной анемометр помещают над центром экрана, и скорость ветра измеряют четыре раза в сутки: в 7 час. 30 мин., 13 час. 30 мин., 19 час. 30 мин. и 1 час. 30 мин. Среднюю скорость ветра определяют, как среднее арифметическое, а объем воздуха, прошедшего через экран, находят по уравнению:

$$Q = S_1 \cdot \bar{V} \cdot f \cdot t \cdot 3600,$$

где:  $S_1$  – площадь экрана, м<sup>2</sup>;  $t$  – время экспозиции экрана, с;  $f$  – продуваемость экрана, равная примерно 45 %.

Маршрутный пост наблюдений - место на определенном маршруте в городе. Он предназначен для регулярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности при наблюдениях, которые проводятся с помощью передвижной аппаратуры. Маршрутные наблюдения осуществляются на маршрутных постах с помощью автолабораторий.

Такая передвижная лаборатория имеет производительность около 5000 отборов проб в год, в день на такой машине можно произвести отбор 8-10 проб воздуха. Порядок объезда маршрутных постов ежемесячно меняется таким образом, чтобы отбор проб воздуха на каждом пункте проводился в разное время суток.

Передвижной (подфакельный) пост предназначен для отбора проб под дымовым (газовым) факелом с целью выявления зоны влияния данного источника. Подфакельные наблюдения осуществляются по специально разрабатываемым программам и маршрутам

за специфическими загрязняющими веществами, характерными для выбросов данного предприятия.

Места отбора проб при подфакельных наблюдениях выбирают на разных расстояниях от источника загрязнения с учетом закономерностей распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Отбор проб воздуха производится последовательно по направлению ветра на расстояниях (0,2 - 0,5); 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15 и 20 км от стационарного источника выброса, а также с наветренной стороны источника.

Наблюдения под факелом проводятся за типичными для данного предприятия ингредиентами с учетом объема выбросов и их токсичности. В зоне максимального загрязнения (по данным расчетов и экспериментальных замеров) отбирается не менее 60 проб воздуха, а в других зонах минимум должен быть не меньше 25. Отбор проб воздуха при проведении подфакельных наблюдений производится на высоте 1,5 м от поверхности земли в течение 20-30, мин. не менее чем в трех точках одновременно. В течение рабочего дня под факелом можно отобрать пробы последовательно в 5-8 точках.

*Автоматизированная система наблюдений и контроля окружающей среды (АНКОС-АГ)* предназначена для автоматизированного сбора, обработки и передачи информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха. Система позволяет непрерывно получать информацию о концентрации примесей и метеорологических параметрах в населенных пунктах или около крупных промышленных предприятий. Технические возможности регистрации, передачи, хранения и обработки данных о загрязнении атмосферного воздуха позволили разработать основные принципы функционирования автоматизированных систем наблюдения за состоянием атмосферного воздуха (рис. 126).

***В состав разработанной отечественной промышленностью АНКОС-АГ входят следующие технические средства:***

- павильон, конструктивно представляющий собой металлический каркас прямоугольной формы размером 2300х4700х7600 мм;
- мачтовое устройство с комплектом метеодатчиков, установленных на крыше павильона, для измерения скорости и направления ветра, температуры, влажности;
- устройства отопления, вентиляции, освещения, кондиционирования и пожаротушения;

- газоанализаторы оксида углерода, диоксида серы, оксида, диоксида и суммы оксидов азота, озона, суммы углеводородов без метана;
- устройство сбора и обработки информации на базе компьютеров.



**Рис. 126. Автоматические станции контроля атмосферного воздуха**

Обмен информацией между системой АНКОС и Центром обработки информации осуществляется по коммутируемым телефонным каналам общего пользования при помощи аппаратов передачи данных (АПД) и мультиплексора передачи данных (МПД). АПД, устанавливаемые на станциях АНКОС, совместно с АПД и МПД центра обработки информации образуют автоматическую централизованную подсистему сбора информации от систем АНКОС, размещенных по городу или региону. *Состав технических средств центра обработки информации:*

- специализированный вычислительный комплекс на базе ЭВМ;
- мультиплексор передачи данных на базе микро - ЭВМ;
- пульт диспетчера;
- мнемосхема;
- вспомогательное и сервисное оборудование;
- программное обеспечение (пакета программ первичной и вторичной обработки данных измерений, банки данных, диспетчерские программы и др.).

***Системы АНКОС-АГ и Центра обеспечивают:***

- систематическое измерение заданных параметров атмосферного воздуха;
- автоматический сбор информации со станций АНКОС;
- сбор информации от неавтоматизированных звеньев наблюдений (например, от стационарных и передвижных постов);
- оперативную оценку ситуации по известным значениям ПДК;
- краткосрочный прогноз уровней загрязнения контролируемых примесей;
- обработку и выдачу информации.

***Средства математического обеспечения включают следующие основные алгоритмы обработки данных:***

- алгоритм первичной обработки (проверка достоверности служебной информации о загрязнении, приведение информации к виду, удобному для обработки и др.);
- алгоритм статистической обработки (определение числовых, вероятностных характеристик параметров загрязнения, метеорологических параметров и др.);
- алгоритм экспресс-информации о состоянии загрязнения во всех районах города в заданный момент времени;
- алгоритм краткосрочного и долгосрочного прогнозирования загрязнения воздуха;
- алгоритм управления, определяющий временной режим работы системы, последовательность этапов функционирования, контроль работоспособности системы, приоритет программ обработки данных и др.

Время усреднения данных о концентрациях примесей составляет не менее 20-30 мин., что соответствует времени отбора проб в поглонительные приборы. Частота выдачи информации автоматизи-

рованной системы может составлять от нескольких минут до нескольких часов.

**Отбор проб атмосферного воздуха для анализа.** Одним из основных элементов анализа качества атмосферного воздуха является отбор проб. Если отбор проб выполнен неправильно, то результаты самого тщательного анализа теряют всякий смысл. Отбор проб атмосферного воздуха осуществляется через поглотительный прибор аспирационным способом путем пропускания воздуха с определенной скоростью или заполнения сосудов ограниченной емкости. Для исследования газообразных примесей пригодны оба метода, а для исследования примесей в виде аэрозолей (пыли) – только первый.

В результате пропускания воздуха через поглотительный прибор осуществляется концентрирование анализируемого вещества в поглотительной среде. Для достоверного определения концентрации вещества расход воздуха должен составлять десятки и сотни литров в минуту. Пробы подразделяются на разовые (период отбора 20-30 мин.) и средние суточные (определяются путем осреднения не менее четырехразовых проб атмосферного воздуха, отобранных через равные промежутки времени в течение суток).

Обычно для получения средних суточных значений концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе пробы воздуха отбирают в 7, 13, 19 и 01 час. по местному декретному времени. Средняя суточная концентрация может быть получена и при более частых отборах проб воздуха в течение суток, но обязательно через равные промежутки времени. Наилучшим способом получения средних суточных значений является непрерывный отбор проб воздуха в течение 24 час (рис. 127).

Для отбора проб воздуха используются электроаспираторы, пылесосы и другие приборы и устройства, пропускающие воздух, а также устройства, регистрирующие объем пропускаемого воздуха (реометры, ротаметры и другие расходомеры). Учитывая, что метеорологические факторы определяют перенос и рассеяние вредных веществ в атмосферном воздухе, отбор проб воздуха должен сопровождаться наблюдениями за дымовыми факелами источников выбросов и основными метеорологическими параметрами, к числу которых относятся: скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферные явления, состояние погоды и подстилающей поверхности. Результаты наблюдений записываются в рабочий журнал гидромет наблюдателя, а обработанные результаты

– в книжку записи наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха и метеорологическими элементами (КЗА-1).



**Рис. 127. Сетевые аналитические лаборатории**

Методы дискретного отбора проб воздуха для последующего анализа в химической лаборатории несомненно важны и необходимы в общей системе наблюдений загрязнения атмосферного воздуха. Однако при получении информации о загрязнении атмосферного воздуха только в сроки 7, 13 и 19 час. нельзя быть уверенным в объективности информации о средней суточной концентрации. Не исключено, что в промежуточные сроки наблюдались значительно более высокие или более низкие концентрации. По данным таких дискретных наблюдений нельзя установить суточный ход концентрации примеси и его зависимость от метеорологических условий. Поэтому на пунктах наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ) используются газоанализаторы, позволяющие восполнить пробел в ручных методах дискретного отбора проб и представляющие информацию о суточном ходе концентрации по записи на диаграммной ленте. Наиболее широко используются на ПНЗ следующие газоанализаторы: для диоксида серы – кулонометриче-

ский газоанализатор (ГПК-1) и флюоресцентный газоанализатор (667ФФ), оксида углерода - оптико-акустический (ГМК-3), оксида, диоксида и суммы оксидов азота - хемилюминесцентный (645ХЛ), углеводородо-ионизационный (623ИН), озона – хемилюминесцентный (652ХЛ).

**Сбор и обработка данных о загрязнении атмосферного воздуха.** Данные о результатах наблюдений загрязнения атмосферного воздуха и метеорологических параметров, о результатах подфакельных и других наблюдений поступают со стационарных и маршрутных постов в одно из подразделений местных органов Госкомгидромета, чаще всего в отделы обеспечения информацией народно-хозяйственных организаций управлений по гидрометеорологии, где они проходят контроль и сводятся в специальные таблицы, так называемые таблицы наблюдений за загрязнением атмосферы (ТЗА), **таблицы подразделяются на четыре вида: ТЗА-1. ТЗА-2, ТЗА-3 и ТЗА-4:**

- ТЗА-1 – результаты разовых наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха сети постоянно действующих стационарных и маршрутных постов в одном городе или промышленном центре, а также данные метеорологических и аэрологических наблюдений;
- ТЗА-2 – результаты подфакельных наблюдений;
- ТЗА-3 – данные средних суточных наблюдений за выпадением и концентрацией пыли и газообразных примесей;
- ТЗА-4 – данные суточных наблюдений с помощью газоанализаторов или других приборов и устройств непрерывного действия (рис. 128).

**Дистанционное определение загрязнения воздуха.** Радиолокаторы позволяют оперативно контролировать пленки нефтяных разливов на поверхности морей и океанов и определять границы их. По изменениям интенсивности и частоты радиотеплового излучения слоев атмосферы, обусловленным наличием в них примесей различных газов, можно определять концентрацию этих газов в атмосфере на разных высотах. Аналогичным образом можно изучать и распределение озона в атмосфере, столь важного для жизни людей.

Загрязнения атмосферы изменяют степень поглощения ею радиоволн различных частот, что позволяет для детального контроля этих загрязнений применять радиолокаторы. Особенно перспективны для контроля загрязнения природных сред легко фокусируемые

монохроматические, когерентные электромагнитные волны лазеров. Поэтому быстро развиваются эффективные способы контроля загрязнения атмосферы или воды теми или иными веществами при помощи лазеров. Они основаны на свойстве атомов и молекул поглощать или излучать электромагнитные волны только вполне определенной для каждого вещества частоты.

ТАБЛИЦА ТЗА-0								
записи ежедневных наблюдений за загрязнением атмосферы на постах								
Город _____			Пост _____			Наблюдатель _____		
Дата _____				Срок _____				
(ч, мин.)								
Примесь	Номер пробы	Время отбора ч, мин.		Расход воздуха $u$ , дм <sup>3</sup> /мин	Объём воздуха $v$ , дм <sup>3</sup>	Температура, Т°С	Ветер	
		$\tau_1$ (начало)	$\tau_2$ (начало)				направление, $d^\circ$	скорость, $v$ м/с
						1.		
						2.		
						3.		
						Ср.		
						Состояние		
						Температура внутри поста, Т°С	погоды	поверхности почвы
Наблюдатель _____							(подпись)	Давление мм рт. ст.
Дата отправки проб в лабораторию _____								
Дата получения проб в лаборатории _____								

**Рис. 128. Форма таблиц ТЗА**

Каждое вещество имеет характерный для него набор частот, на которых происходит излучение или поглощение электромагнитной энергии, а интенсивность поглощения или излучения на этих частотах позволяет определять количество данного вещества в окружающей среде. Устанавливая на определенном расстоянии друг от друга лазер и фотоприемник и перестраивая в широких пределах частоту излучения лазера, можно определить степень поглощения луча на определенных частотах и таким образом судить о степени загрязнения воздуха различными веществами. Точность измерения степени загрязнения воздуха может достигать миллионных долей процента, а сами измерения проводятся значительно быстрее химических анализов воздуха.

**Математическое моделирование процессов рассеяния вредных веществ в атмосферном воздухе.** Чтобы получить информацию о пространственной изменчивости концентраций вредных веществ в воздухе и по экспериментальным данным составить карту загрязнения воздуха, необходимо систематически проводить отборы проб воздуха в узлах регулярной сетки с шагом не более 2 км. Такая задача практически невыполнима. Поэтому для построения полей концентрации используются методы математического моделирования процессов рассеяния примесей в атмосферном воздухе, реализуемые на ЭВМ.

Математическое моделирование предполагает наличие достоверных данных о метеорологических особенностях и параметрах выбросов. Применимость моделей к реальным условиям проверяется по данным сетевых или специально организованных наблюдений. Расчетные концентрации должны совпадать с наблюдаемыми в точках отбора проб. Моделью может служить любая алгоритмическая или аналоговая система, позволяющая имитировать процессы рассеяния примесей в атмосферном воздухе.

В нашей стране наибольшее распространение получила модель профессора М.Е. Берлянда. В соответствии с этой моделью степень загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ из непрерывно действующих источников определяется по наибольшему рассчитанному значению разовой приземной концентрации вредных веществ ( $C_m$ ), которая устанавливается на некотором расстоянии ( $x_m$ ) от места выброса при неблагоприятных метеорологических условиях, когда скорость ветра достигает опасного значения ( $V_m$ ), и в приземном слое происходит интенсивный турбулентный обмен. Модель позволяет рассчитывать поле разовых максимальных концентраций примеси на уровне земли при выбросе из одиночного источника и группы источников, при нагретых и холодных выбросах, а также дает возможность одновременно учесть действие разнородных источников и рассчитать суммарное загрязнение атмосферы от совокупности выбросов стационарных и передвижных источников.

Алгоритм и порядок проведения расчетов полей максимальных концентраций изложены в "Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. «ОНД-86» и в соответствующих инструкциях к про-

граммам расчетов. **В результате проведенных расчетов на ЭВМ получаются:**

- максимальные концентрации примесей в узлах расчетной сетки, мг/м<sup>3</sup>;
- максимальные приземные концентрации ( $C_m$ ) и расстояния, на которых они достигаются ( $X_m$ ), для источников выбросов вредных веществ;
- доля вклада основных источников выбросов в узлах расчетной сетки;
- карты загрязнения атмосферного воздуха (в долях ПДК<sub>мр</sub>);
- распечатка входных данных об источниках загрязнения, метеорологических параметрах, физико-географических особенностях местности;
- перечень источников, дающих наибольший вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха; другие данные.

**Прогноз загрязнения атмосферы.** В связи с высокой насыщенностью городов источниками загрязнения, уровень загрязнения атмосферного воздуха в них, как правило, существенно выше, чем в пригородах и, тем более в сельской местности. В отдельные периоды, неблагоприятные для рассеяния выбросов, концентрации вредных веществ могут сильно возрасти относительно среднего и фоновое городского загрязнения. Частота и продолжительность периодов высокого загрязнения атмосферного воздуха будут зависеть от режима выбросов вредных веществ (разовых, аварийных и др.), а также от характера и продолжительности метеоусловий, способствующих повышению концентрации примесей в приземном слое воздуха. Во избежание повышения уровней загрязнения атмосферного воздуха при неблагоприятных для рассеяния вредных веществ метеорологических условиях необходимо прогнозировать и учитывать эти условия.

В настоящее время установлены факторы, определяющие изменение концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе при изменении метеорологических условий. Прогнозы неблагоприятных метеорологических условий могут составляться как для города в целом, так и для групп источников или отдельных источников.

**Обычно выделяются три основных типа источников:**

- высокие с горячими (теплыми) выбросами;
- высокие с холодными выбросами;

- низкие.

Для указанных источников выбросов аномально неблагоприятные условия рассеяния примесей приведены в таблице 18.

**Таблица 18. Комплексы неблагоприятных метеорологических условий для источников разных типов**

Источники	Термическая стратификация нижнего слоя атмосферы	Скорость ветра (м/с)		Вид инверсии, высота над источником выброса, м
		на уровне флюгера	на уровне выброса	
Высокие с горячими выбросами	Неустойчивая	3-7	7-12	Приподнятая, 100-200
Высокие с холодными выбросами	Неустойчивая	Штиль	3-5	Приподнятая, 10-200
Низкие	Устойчивая	Штиль	Штиль	Приземная, 2-50

*В дополнение к комплексам неблагоприятных метеоусловий, приведенным в таблице 10. можно добавить следующее:*

*для высоких источников с горячими (теплыми) выбросами:*

- высота слоя перемешивания меньше 500 м, но больше эффективной высоты источника;
- скорость ветра на высоте источника близка к опасной скорости ветра;
- наличие тумана и скорость ветра больше 2 м/с.

*для высоких источников с холодными выбросами:* наличие тумана и штиль.

*для низких источников выбросов:* сочетание штиля и приземной инверсии.

Следует также иметь в виду, что при переносе примесей в районы плотной застройки или в условиях сложного рельефа, концентрации могут повышаться в несколько раз. Для характеристики загрязнения атмосферного воздуха по городу в целом, т.е. для фоновой характеристики, в качестве обобщенного показателя используется параметр Р:

$$P = \frac{M}{N},$$

где: N – число наблюдений за концентрацией примеси в городе в течение одного дня на всех стационарных постах;

M – количество наблюдений в течение того же дня с повышенной концентрацией примеси (q), превышающей среднее сезонное значение ( $q_{\text{ср}}$ ), более чем в 1,5 раза ( $q > 1,5 q_{\text{ср}}$ ).

Параметр P рассчитывается для каждого дня, как по отдельным примесям, так и по всем вместе. Этот параметр является относительной характеристикой, и его значение определяется главным образом метеорологическими факторами, оказывающими влияние на состояние атмосферного воздуха по всей территории города. Использование при прогнозе параметра P в качестве характеристики загрязнения воздуха по городу в целом (предиктанда) предусматривает выделение трех групп загрязнения воздуха, определяемых характеристиками (табл. 19).

**Таблица 19. Характеристики определения загрязнения воздуха**

Группа загрязнения	Градация параметра P	Уровень загрязнения атмосферного воздуха	Повторяемость, %
1	>0,35	Относительно высокий	10
2	0,21-0,35	Повышенный	40
3	=<20	Пониженный	50

*Примечание: Если повторяемость градации P>0,35 меньше 5%, то к первой группе загрязнения следует относить градации параметра P>0,30), ко второй – P от 0,21 до 0,30.*

В целях предотвращения чрезвычайно высоких уровней загрязнения, из первой группы выделяется подгруппа градаций с  $P > 0,5$ , повторяемость которой составляет 1-2 %. Методика предсказания вероятного роста концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе города предусматривает использование прогностической схемы загрязнения воздуха, которая разрабатывается для каждого города на основании опыта многолетних наблюдений за состоянием его атмосферы.

**Рассмотрим общие принципы построения прогностических схем.** Прогностические схемы загрязнения воздуха в городе должны разрабатываться для каждого сезона года и каждой половины дня отдельно. При скользящем графике отбора проб воздуха к первой половине дня относятся сроки отбора проб в 7, 10 и 13 час., а ко второй – в 15, 18 и 21 час. При трехразовом отборе проб к первой половине дня относят сроки отбора проб в 7 и 13 час., а ко второй – в 13 и 19 час.

Метеорологические предикторы для первой половины дня берутся за срок 6 ч. а данные радиозондирования – за срок 3 час. Для второй половины дня в качестве предикторов принимаются метео-элементы за срок 15 час. Характеристики метеорологических условий и предикторов, а также их порядок использования в прогнозах детально изложены в *"Методических указаниях по прогнозу загрязнения воздуха в городах"*.

Оперативное прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха проводится с целью кратковременного сокращения выбросов вредных веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий. Обычно составляются два вида прогноза загрязнения атмосферного воздуха по городу: предварительный (на сутки вперед) и уточненный (на 6-8 ч вперед, в том числе утром на текущий день, днем на вечер и на ночь).

**Оптимизация сети наблюдений и контроля загрязнения атмосферного воздуха.** Сеть наблюдений и контроля загрязнения атмосферного воздуха является в настоящем и будущем единственным экспериментальным средством оценки состояния загрязнения атмосферного воздуха и применимости математических моделей рассеяния примесей в атмосфере. Общими задачами сети являются:

- повышение эффективности, качества, надежности и достоверности данных наблюдений;
- внедрение новых методов многокомпонентного анализа примесей в атмосферном воздухе и в отходящих газах;
- достижение оптимального соотношения используемых в различных городах и населенных пунктах методов ручного отбора и анализа проб воздуха и полуавтоматических методов, повышение автоматизации средств измерений;
- повышение оперативности сбора, обработки, передачи и использования данных наблюдений в задачах контроля и регулирования уровней загрязнения атмосферного воздуха;

- установление тенденций и причин изменения уровней загрязнения атмосферного воздуха.

Оптимальным может быть вариант совмещения задач исследования характера и причин изменения уровней загрязнения атмосферного воздуха. Однако существующая сеть наблюдений в силу различных причин не способна выполнить эти условия. Поэтому для совершенствования организации наблюдений состояния атмосферного воздуха и контроля выбросов должны использоваться методы математического моделирования, оценки загрязнения снежного покрова, аэрокосмические и лазерные дистанционные методы. Наземные посты наблюдений должны оборудоваться современными высокочувствительными и селективными приборами и системами оценки качества атмосферного воздуха в реальном масштабе времени.

С учетом данных комплексного обследования состояния загрязнения атмосферного воздуха на территории города или населенного пункта должна разрабатываться программа оптимизации сети наблюдений. Немаловажными являются выборка и статистическая обработка данных экспериментальных наблюдений.

**Средства защиты атмосферы.** Для защиты атмосферы от негативного антропогенного воздействия используются *следующие основные меры:*

**1. Экологизация технологических процессов:**

- создание замкнутых технологических циклов, малоотходных технологий, исключающих попадание в атмосферу вредных веществ;

- уменьшение загрязнения от тепловых установок: централизованное теплоснабжение, предварительная очистка топлива от соединений серы, использование альтернативных источников энергии, переход на топливо повышенного качества (с угля на природный газ);

- уменьшение загрязнения от автотранспорта: использование электротранспорта, очистка выхлопных газов, использование каталитических нейтрализаторов для дожигания топлива, разработка водородного транспорта, перевод транспортных потоков за город.

**2. Очистка технологических газовых выбросов от вредных примесей.**

**3. Рассеивание газовых выбросов в атмосфере.** Рассеивание осуществляется с помощью высоких дымовых труб (высотой более

300 м). Это временное, вынужденное мероприятие, которое осуществляется вследствие того, что существующие очистные сооружения не обеспечивают полной очистки выбросов от вредных веществ.

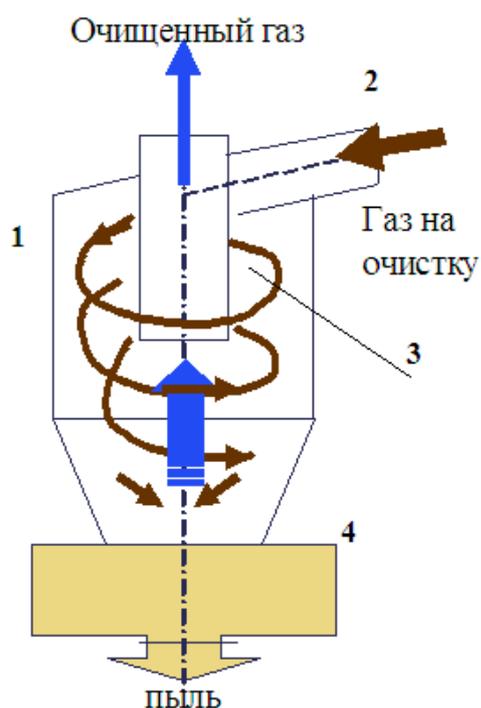
#### **4. Устройство санитарно-защитных зон, архитектурно-планировочные решения.**

**Санитарно-защитная зона (СЗЗ)** – это полоса, отделяющая источники промышленного загрязнения от жилых или общественных зданий для защиты населения от влияния вредных факторов производства. Ширина СЗЗ устанавливается в зависимости от класса производства, степени вредности и количества выделенных в атмосферу веществ (50-1000 м).

**Архитектурно-планировочные решения** – правильное взаимное размещение источников выбросов и населенных мест с учетом направления ветров, сооружение автомобильных дорог в обход населенных пунктов и др. **Оборудование для очистки выбросов:**

- устройства для очистки газовых выбросов от аэрозолей (пыли, золы, сажи);
- устройства для очистки выбросов от газо- и парообразных примесей ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  и др.)

**Устройства для очистки технологических выбросов в атмосферу от аэрозолей. Сухие пылеуловители (циклоны).** Сухие пылеуловители предназначены для грубой механической очистки от крупной и тяжелой пыли. Принцип работы – оседание частиц под действием центробежной силы и силы тяжести. Широкое распространение получили циклоны различных видов: одиночные, групповые, батарейные (рис. 129).

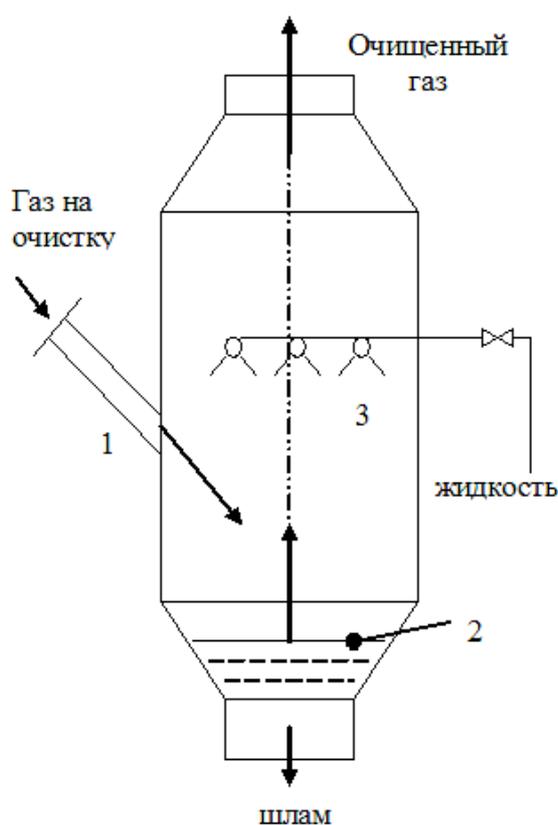


**Рис. 129. Схема упрощенной конструкции одиночного циклона**

Пылегазовый поток вводится в циклон через входной патрубок 2, закручивается и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса 1. Частицы пыли отбрасываются под действием центробежных сил к стенке

корпуса, а затем под действие силы тяжести собираются в пылевой бункер 4, откуда периодически удаляются. Газ, освободившись от пыли, разворачивается на  $180^\circ$  и выходит из циклона через трубу 3.

**Мокрые пылеуловители (скрубберы).** Мокрые пылеуловители характеризуются высокой эффективностью очистки от мелкодисперсной пыли размером до 2 мкм. Работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель под действием сил инерции или броуновского движения. Запыленный газовый поток по патрубку 1 направляется на зеркало жидкости 2, на котором осаждаются наиболее крупные частицы пыли. Затем газ поднимается навстречу потоку капель жидкости, подаваемой через форсунки, где происходит очистка от мелких частиц пыли (рис. 130).



**Рис. 130. Схема скруббера**

**Фильтры.** Предназначены для тонкой очистки газов за счет осаждения частиц пыли (до 0,05 мкм) на поверхности пористых фильтрующих перегородок (рис. 131).

По типу фильтрующей загрузки различают тканевые фильтры (ткань, войлок, губчатая резина) и зернистые. Выбор фильтрующего материала определяется требованиями к очистке и условиями работы: степень очистки, температура, агрессивность газов, влажность, количество и размер пыли и т.д.

**Электрофильтры** – это эффективный способ очистки от взвешенных частиц пыли (0,01 мкм), от масляного тумана. Принцип действия основан на ионизации и осаждении частиц в электрическом поле. У поверхности коронирующего электрода происходит ионизация пылегазового потока. Приобретая отрицательный заряд, частицы пыли движутся к осадительному электроду, имеющему знак, противоположный заряду коронирующего электрода. По мере накопления на электродах частицы пыли падают под действием силы тяжести в сборник пыли или удаляются встряхиванием.

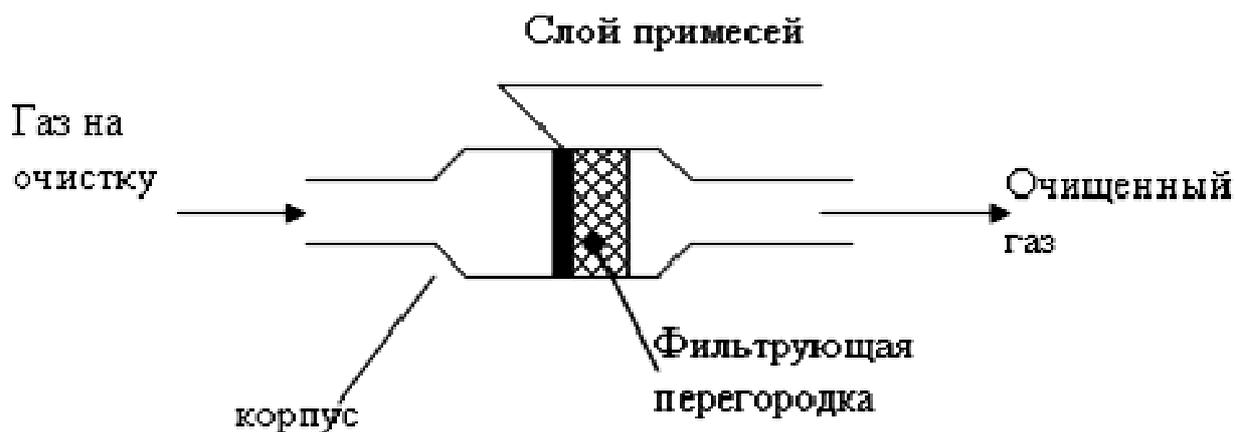


Рис. 131. Схема фильтра

### *Способы очистки от газо-, и парообразных примесей.*

**1. Очистка от примесей путем каталитического превращения.** С помощью этого метода превращают токсичные компоненты промышленных выбросов в безвредные или менее вредные вещества путем введения в систему катализаторов (Pt, Pd, Vd):

- каталитическое дожигание CO до CO<sub>2</sub>;
- восстановление NO<sub>x</sub> до N<sub>2</sub>.

**2. Абсорбционный метод** основан на поглощении вредных газообразных примесей жидким поглотителем (абсорбентом). В качестве абсорбента, например, используют воду для улавливания таких газов как NH<sub>3</sub>, HF, HCl.

**3. Адсорбционный метод** позволяет извлекать вредные компоненты из промышленных выбросов с помощью адсорбентов – твердых тел с ультрамикроскопической структурой (активированный уголь, цеолиты, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

**В последующих главах мониторинга воды, почвы и других объектов мы рассматриваем только конкретные особенности мониторинга, касающиеся данного объекта, многие общие положения изложены в 6 главе.**

**Учебное издание**

**Авторский коллектив**

**ФГБОУ ВО «Государственный  
Университет по  
землеустройству»,  
г. Москва**

**ФГБОУ ВО «Дагестанский  
Государственный аграрный  
университет им. М.М. Джамбулатова»,  
г. Махачкала**

**Кафедра почвоведения, экологии  
и природопользования:**

**Кафедра кадастров и ландшафтной  
архитектуры:**

**Вершинин Валентин Валентинович  
Шаповалов Дмитрий Анатольевич  
Широкова Вера Александровна  
Хуторова Алла Олеговна  
Гуров Анатолий Федорович**

**Мусаев Магомед Расулович  
Магомедова Аминат Ахмедовна  
Мусаева Зарема Магомедовна**

**Кафедра экономики недвижимости:**

**Ключин Павел Владимирович  
Савинова Светлана Викторовна**

# **Геоэкологический мониторинг 1 часть**

**Учебное пособие  
Направление подготовки: 05.06.01 – Науки о Земле  
(бакалавриат, магистратура, аспирантура)**

---

Подписано в печать 02.10.2017 г. Формат 60 x 84 1/16.  
Бумага офсетная Усл.п.л. 18,1 Тираж 100 экз. Зак. № 35  
Размножено в типографии ИП «Магомедалиева С.А.»  
г. Махачкала, ул.М.Гаджиева,176