

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Избранные лекции

Введение

Геоэкологический мониторинг – комплексная информационная система изучения и контроля состояния природной среды для целей прогноза развития экосистем, выдачи рекомендаций для мероприятий по охране окружающей среды, управлению рациональным природопользованием.

Геосистема – любое физико-географическое образование географической оболочки Земли. Близко к понятию «экосистема», но с центром внимания к абиотическим и пространственным закономерностям.

Экосистема – любое сообщество живых существ и окружающая его среда обитания, объединенные в единое целое.

Теоретической основой геоэкологического мониторинга служат представления о последствиях антропогенного воздействия на компоненты и комплексы природной среды, разработанные в геоэкологии. Предмет исследования геоэкологии – состояния природных геосистем и экосистем, измененных под влиянием различных видов природопользования.

Под влиянием хозяйственной деятельности человека природные системы претерпевают существенные изменения и преобразуются в природно-антропогенные, а нередко и в антропогенные комплексы, ареалы которых постоянно расширяются. В итоге к концу XX века антропогенно измененной оказалась практически вся биосфера. Наступил **глобальный экологический кризис**.

Экологические факторы среды

Экологический фактор – любое условие среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живой организм хотя бы на протяжении одной из фаз его индивидуального развития.

Абиотические факторы – все свойства неживой природы, прямо или косвенно влияющие на живые объекты...

Биотические факторы – прямые и опосредованные формы воздействия живых существ друг на друга.

Антропоические факторы - факторы, возникающие в ходе непосредственного (прямого) воздействия человека.

Антропогенные факторы – фактор, обязанный своим происхождением деятельностью (планируемой или случайной, постоянной и прошлой) человека.

Таблица 1

Одна из классификаций экологических факторов среды

Абиотические	Биотические
Климатические: свет, температура, влага, движение воздуха, атмосферное давление Эдафогенные («эдафос» - почва): механический состав, влагоемкость, воздухопроницаемость, плотность Орографические: рельеф, высота над уровнем моря, экспозиция склона Химические: газовый состав воздуха, соле-	Фитогенные: растительные организмы Зоогенные: животные организмы Микробиогенные: вирусы, простейшие бактерии

вой состав воды, Космические: приливы и отливы, космические лучи, космическая погода	
--	--

Различные подходы к классификации экологических факторов:

А)

- по очередности;
- по происхождению;
- по среде возникновения;
- по степени воздействия.

В)

- первичные периодические факторы;
- вторичные периодические факторы;
- непериодические факторы.

Основные абиотические факторы и их воздействие на организмы

СОЛНЕЧНЫЙ СВЕТ

Мощность солнечного излучения, падающего на границу ОКП и межпланетной среды, составляет

$$\pi R_3^2 I = 1,7 \cdot 10^{17} \text{ Вт};$$

$$I = (1367 \pm 3) \text{ Вт/м}^2, \quad (1.1)$$

где I – солнечная постоянная, естественные изменения которой не превосходят 0,1%;

R_3 – радиус Земли.

Часть этого потока (определяющийся сферическим альбедо Земли $A_3 = 0,30 \div 0,36$) отражается атмосферой и поверхностью Земли и не входит в ее тепловой баланс/

Средний, поглощенный поверхностью и атмосферой, поток солнечного излучения у поверхности Земли на единицу ее площади ($4\pi R_3^2$) составляет $\varepsilon = 240 \text{ Вт/м}^2$.

Этот поток согласно закону Стефана-Больцмана и определяет эффективную температуру на поверхности Земли

$$\varepsilon = \sigma * T_{ef}^4$$

(1.2),

где постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$.

В отсутствии атмосферы она составляла бы 255К или -18°C. Однако, реальная средняя температура Земли составляет 288К (15°C) и обусловлена парниковым эффектом, доля которого составляет соответственно 150-160 Вт/м² (Будыко, 1978).

Суммарная радиация – совокупность прямой и рассеянной атмосферой компонент солнечной радиации (до 90 Вт/м²) определяет на планете световой режим. Зависит от времени суток, периода года и широты на поверхности Земли, состояния ее атмосферы и рельефа данной местности:

- адаптационные ритмы жизни
- суточные ритмы – вращение Земли вокруг оси;
- годовые ритмы – определяют фотопериоды – изменение в соотношении дня и ночи;
- приливно-отливные ритмы – лунные приливы (по два за лунные сутки - 24^h50^m). Дважды в месяц в полнолуние и новолуние – максимальные приливы и отливы

Интенсивность света влияет на первичное продуцирование органического вещества фотоавтотрофами. Фотосинтетическая деятельность как у наземных, так и водных фотоавтотрофов связана с интенсивностью света линейной зависимостью вплоть до оптимальных уровней светового насыщения.

УФ-излучение – самая высокая энергия квантов и соответственно наибольшая фотохимическая активность.

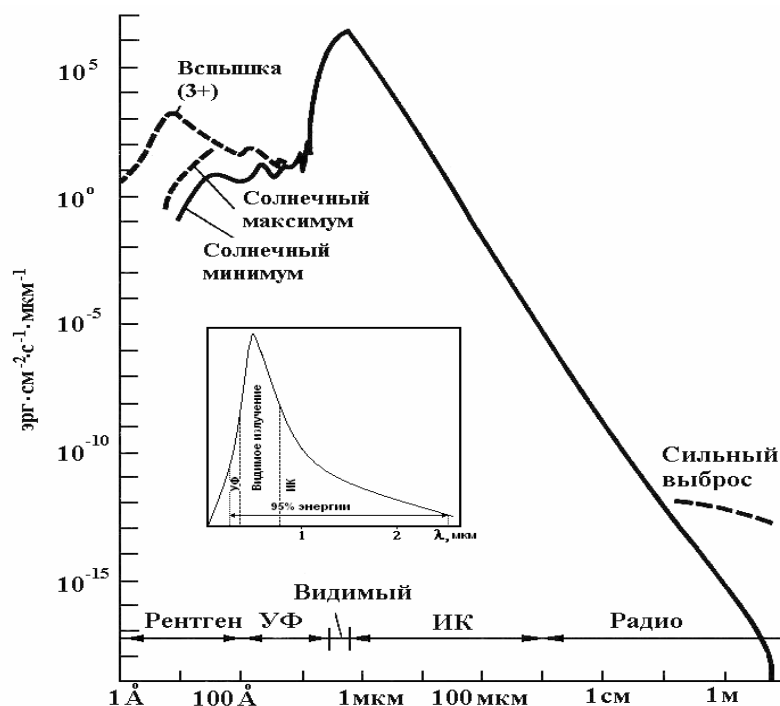


Рис. 2. Спектральное распределение энергии излучения Солнца

Видимый свет – основа фотосинтеза у зеленых растений. Для животного мира важен при ориентации, регуляции основных физиологических процессов.

ИК-излучение – переносит основное количество (до 45%) тепловой энергии.

ТЕМПЕРАТУРА

По значимости для живых организмов находится на втором месте после света. Экологическое значение тепла состоит прежде всего в том, что температура окружающей среды определяет температуру организмов, и соответственно, скорость, интенсивность и характер протекания в них химических реакций, определяющих обмен веществ.

Закон Вант-Гоффа – при повышении температуры на 10°C химические реакции в организме ускоряются в 2-3 раза.

Адаптации организмов к температуре (оптимальная температура – наиболее благоприятная для жизни, роста и размножения):

- биохимические адаптации
- морфологические адаптации
- физиологические адаптации

температурный порог развития – температура, при которой после холодного угнетения восстанавливается нормальный обмен веществ.

Сумма эффективных температур $S = (t_c * t_0) * n$,

где t_c – температура окружающей среды,

t_0 – температура порога развития,

n – число часов или дней, при которых $t_c > t_0$

Она необходима, например, для расчета зацветания растений. Для мать-и-мачехи в районе СПб $S=77^{\circ}\text{C}$, земляники 500°C , желтой акации - 700°C .

АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Азот – 78,01%

Кислород – 20,95%

Углекислый газ – 0,032%

ВЛАЖНОСТЬ – определяет климат и микроклимат

ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ЗЕМЛИ

Космические лучи – 30%

Излучения земного происхождения – 70% (естественные и техногенные)

ОГОНЬ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

ПИТАНИЕ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Питание – процесс потребления энергии и вещества

Основные задачи мониторинга окружающей среды

Общая классификация

Антропогенное воздействие – воздействие на биосферу, обусловленное любой (биологической и техногенной) деятельностью человека. **Техногенное воздействие** происходит в результате производственной деятельности человека, когда продукты этой деятельности не могут быть вовлечены в естественный обмен, происходящий внутри экосистем или между ними (*МАК*).

1. Загрязнение окружающей среды – все то, что находится не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит ее системы из состояния равновесия и отличается от обычно наблюдаемой нормы. Может быть вызвано любым агентом (загрязняющим веществом), в том числе самым чистым. Может возникать как в результате естественных причин – загрязнение природное, так и под влиянием деятельности человека – загрязнение антропогенное или техногенное (*Протасов, 1997*).

2. Загрязнение окружающей среды – это любое внесение в ту или иную экологическую систему (биогеоценоз) не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии и информации, с непременными последствиями в форме снижения продуктивности или разрушения данной экосистемы (*Денисов, 2004*).

3. Загрязнение – поступление в природную среду любых твердых, жидких и газообразных веществ, микроорганизмов или энергий (в виде звуков, шумов, излучений) в количествах, вредных для здоровья человека, животных, состояния растений и экосистем (*Коробкин, Передельский, 2000*).

4. Загрязнение с позиций кибернетики – комплекс помех в экосистемах. Которые воздействуют на потоки энергии и информации в пищевых (энергетических) цепях, наво-

для в них помехи или приводя к их разрушению (Денисов, 2004). Помимо помех, которые возникают в экосистемах в качестве косвенных последствий тех или иных мероприятий, человек часто совершает направленные помехи в каналах информации между компонентами экосистем.

Подавляющая часть антропогенных воздействий носит **целенаправленный** характер, то есть совершается человеком сознательно во имя достижения конкретных целей.

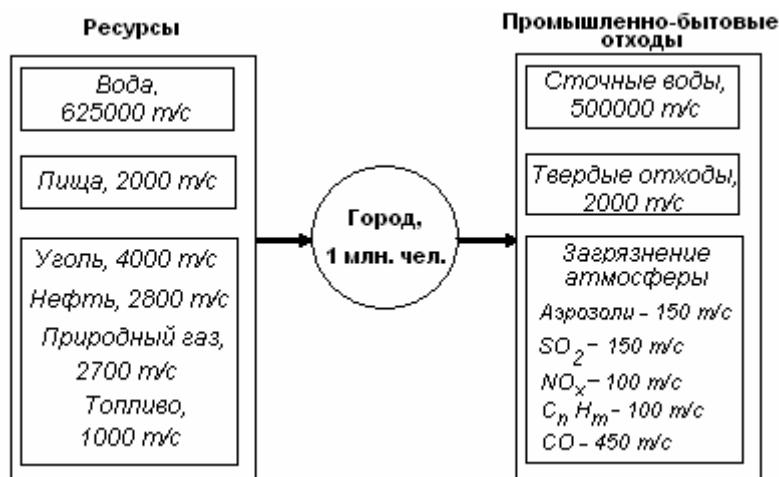


Рис. 1. Схема поступающих в город с населением 1 млн. чел. ресурсов и его промышленно-бытовых отходов за сутки, определяющих общее загрязнение городом окружающей среды

Загрязняющее вещество (токсичное вещество, опасное вещество, вредное вещество, примесь, поллютант) – вещество, способное причинить вред здоровью людей или окружающей среде. В законах ряда стран (США, Канада, Япония, ФРГ, Россия) устанавливается перечень конкретных загрязняющих веществ, выбросы которых следует контролировать и содержание которых при превышении установленных для них нормативов рассматривается как загрязнение. В ряде других стран (Швеция, Великобритания) законодательно установлены довольно общие правовые стандарты для выбросов загрязняющих веществ. К основным загрязняющим веществам обычно относят: совокупность взвешенных частиц, диоксид серы, оксид углерода, углеводороды, диоксид азота, свинец (Протасов, 1997).

Категории загрязнений:

ингредиентное – внесение химических веществ – **ксенобиотиков**, - количественно или качественно чуждых естественным биогеоценозам (бытовые стоки, ядохимикаты, продукты сгорания и т.д.);

параметрическое (физическое) – связано с изменением качественных параметров окружающей среды (тепловое, шумовое, радиационное, электромагнитное);

биоценотическое – вызывающее нарушения в составе и структуре популяций живых организмов, населяющих биогеоценоз (перепромысел, направленная интродукция и акклиматизация видов...);

стационально-деструкционное (стация – место обитания популяции) – нарушение и преобразование ландшафтов и экосистем в процессе природопользования (зарегулирование водотоков, урбанизация, вырубка лесных насаждений и т.д.

Виды загрязнения окружающей среды:

физические – тепловые, шумовые, радиационные, электромагнитные;

химические – тяжелыми элементами, пестицидами, отдельными химическими веществами и элементами;

биологические – биогенные, микробиологические, генная инженерия.

Экологический мониторинг — информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов (Израэль, 1984).

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. определяет экологический мониторинг в РФ как комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

В соответствии с приведенными определениями и возложенными на систему функциями мониторинг включает три основных направления деятельности (рис. 1):

- наблюдения за факторами воздействия и состоянием среды;
- оценку фактического состояния среды;
- прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния.

Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды в РФ в 1995 г.» определяет экологический мониторинг в РФ как комплекс выполняемых по научно обоснованным программам наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе рекомендаций и вариантов управленческих решений, необходимых и достаточных для обеспечения управления состоянием окружающей природной среды и экологической безопасностью.

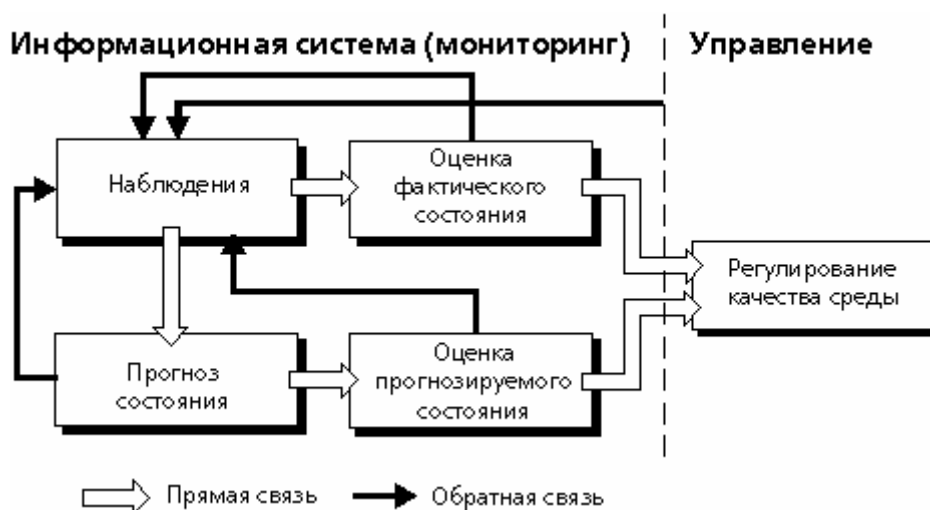


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга

Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды;
- о причинах наблюдаемых и вероятных изменений состояния (т.е., об источниках и факторах воздействия);
- о допустимости изменений и нагрузок на среду в целом;
- о существующих резервах биосферы.

Таким образом, в систему экологического мониторинга входят наблюдения за состоянием элементов биосферы и наблюдения за источниками и факторами антропогенного воздействия.

Основные направления экологического мониторинга:

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

- прогноз состояния окружающей природной среды и оценка 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. Термин **контроль**, нередко употребляющийся в русскоязычной литературе для описания аналитического определения тех или иных параметров (например, контроль состава атмосферного воздуха, контроль качества воды водоемов), следует использовать только в отношении деятельности, предполагающей принятие активных регулирующих мер.

«Толковый словарь по охране природы» определяет экологический контроль следующим образом:

Контроль экологический — деятельность государственных органов, предприятий и граждан по соблюдению экологических норм и правил. Различают государственный, производственный и общественный экологический контроль.

Законодательные основы экологического контроля регулируются **Законом РФ "Об охране окружающей природной среды"** (декабрь 2001-ГД РФ, 10 января 2002 г. - Президент).

Глава XI. Контроль в области охраны окружающей среды (экологический контроль)

Статья 64. Задачи контроля в области охраны окружающей среды (экологического контроля)

1. Контроль в области охраны окружающей среды (экологический контроль) проводится в целях обеспечения органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, юридическими и физическими лицами исполнения законодательства в области охраны окружающей среды, соблюдения требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды, а также обеспечения экологической безопасности.

2. В Российской Федерации осуществляется государственный, производственный, муниципальный и общественный контроль в области охраны окружающей среды.

Таким образом, в природоохранительном законодательстве государственная служба мониторинга определена фактически как часть общей системы экологического контроля.

Мониторинг источников воздействия	Источники воздействия			
Мониторинг факторов воздействия	Факторы воздействия			
	Физические	Биологические	Химические	
Мониторинг состояния биосферы	Природные среды			
	Атмосфера	Океан	Поверхность суши с реками и озерами, подземные воды	Биота
	Геофизический мониторинг			Биологический мониторинг
	Околосредное космическое пространство			
	Геофизический мониторинг Астрофизический мониторинг			

Рис.2. Общая классификация экологического мониторинга

Критерии оценки состояния природной среды

Методы мониторинга

В качестве критериев *могут выступать* показатели исходного состояния наблюдаемых объектов и комплексов, характеристики объектов-эталонов – фоновые характеристики.

Однако, *чаще всего* в качестве критериев используют различные нормативные показатели, характеризующие меру возможного воздействия человека на окружающую среду и ее обратную реакцию.

Санитарно-гигиенические показатели устанавливаются исходя из требований экологической безопасности населения.

ПДК – для воздуха, воды, почв и продуктов питания. Максимальная концентрация загрязняющих веществ, не влияющая отрицательно на здоровье людей при воздействии на них в течение всей жизни. Для химических элементов их установлено более 1500 для водоемов, более 450 – для воздуха, более 100 – для почвы.

ПДВ – для воздуха и водоемов. Максимальный объем веществ в единицу времени, который не ведет к превышению ПДК в сфере действия источника загрязнения.

- 1) мониторингу подлежат вещества, загрязнение которыми имеет массовый характер;
- 2) мониторинг должен охватывать наиболее токсичные соединения (ПДК не более 5 мг/м³ для воздуха, 2 мг/л для водоемов).

Степень загрязнения оценивается по кратности превышения ПДК и ПДВ, допустимой повторяемости заданного уровня, количеству токсичных веществ.

Суммарные показатели при наличии веществ с одинаковой степенью вредности

$$C_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i},$$

(1)

где C_i – фактическая концентрация i -го загрязнителя.

Санитарно-гигиенические показатели не полностью отвечают требованиям геоэкологического мониторинга (в них не включены геофизические показатели среды, химические свойства токсикантов и т.д.).

Экологические критерии – мера антропогенного воздействия на экосистемы, при которой их основные функционально-структурные характеристики не выходят за пределы естественных изменений:

- *покомпонентные* - индикаторы состояния и изменения отдельных компонентов окружающей среды (воздуха, воды, почв и т.д.), достаточно репрезентативно характеризующие состояние природной среды (состав атмосферы – содержание кислорода и других газов, тепловой баланс земной поверхности, уровень Мирового океана и т.д.). *Биоиндикаторы* – виды или сообщества живых организмов (чаще всего растений), по состоянию которых можно судить о загрязненности природной среды.

- *комплексные* – суммарные показатели, характеризующие экологические системы в целом. Получаются путем интеграции (суммирования) покомпонентных критериев:

$$x_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i * k_i,$$

(2)

где n – число покомпонентных нормативов, x_i – норматив состояния i -го компонента, k_i – весовой коэффициент норматива.

Оценка степени антропогенных изменений природной среды

Применение рассмотренных критериев дает возможность оценить степень и направление изменений в экосистемах во времени и пространстве.

Временные показатели характеризуют скорость нарастания неблагоприятных изменений природной среды.

Пространственные показатели характеризуют размеры ареалов, в пределах которых проявляются антропогенные воздействия на экосистемы и их компоненты. Если изменение пространственных показателей загрязнений ведет к превышению предельно допустимых размеров экосистемы, то ее деградация может быть необратимой (например, необратимое выгорание лесов).

При оценке загрязнения региона может быть введен параметр, учитывающий площади отдельных контуров его ландшафта. Тогда средневзвешенный показатель загрязнения региона

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i * z_i}{S},$$

(3)

где m_i – площадь i -го контура ландшафта, z_i – загрязнение i -го контура, S – общая площадь региона.

Совместное использование приведенных критериев позволяет выделить уровни экологического неблагополучия территорий экосистем.

Зона экологического риска включает территории с повышенным загрязнением среды (содержание химических веществ в воде и тяжелых металлов в растительности в 2-5 раз выше ПДК), снижением продуктивности растительности экосистем (1,5-3,5% в год), ведущим к спонтанной деградации. Деградация земель захватывает 5-20% территории экосистемы. Однако, нарушения носят обратимый характер. Поэтому ослабление антропогенных нагрузок может привести к улучшению экологической ситуации.

Зона экологического кризиса. Сильное загрязнение среды (содержание загрязнителей выше ПДК в 5-10 раз, снижение продуктивности на 3,5-7,5% в год, потеря устойчивости экосистемы. Деградация земель проявляется на 20-50% площади региона. Нарушения труднообратимы.

Зона экологического бедствия. Сильное и устойчивое загрязнение (содержание загрязнителей превышают ПДК в 10 и более раз), разрушительная потеря продуктивности (более 7,5% в год), практически необратимая трансформация экосистемы, почти полностью исключающая ее хозяйственное использование. Деградация земель на площади, превышающей 50% площади региона.

Критерии экстремально высокого загрязнения окружающей среды при определении ситуаций экологического бедствия и чрезвычайной экологической ситуации (регулируются Федеральным Законом РФ «Об охране окружающей среды»)

Воздух

Степень загрязнения атмосферного воздуха устанавливается по кратности превышения ПДК. Применяются фактические максимально-разовые и среднесуточные концентрации за последние несколько лет, но не менее чем за 2 года. По каждому веществу должно быть не менее 200 проб.

Превышения ПДК варьируются по классам опасности веществ (для класса I>5, IV>30)

Визуальные и органолептические признаки:

- появление устойчивого, не свойственного данной местности (сезону) запаха;

- обнаружение влияния воздуха на органы чувств – резь в глазах, привкус во рту, затрудненное дыхание, рвота и т.д. (одновременно у нескольких десятков человек);
- выпадение окрашенных дождей и других атмосферных осадков;
- появление у атмосферных осадков специфического запаха и привкуса.

Поверхностные воды суши, морские воды

Максимальное разовое содержание для нормируемых веществ 1-2 класса опасности в концентрациях, превышающих ПДК в 5 и более раз.

Признаки:

- появление запаха, ранее не свойственного воде;
- покрытие пленкой (нефтяной, масляной и т.п.) более 1/3 поверхности водного объекта при его обзримой площади до 6 км²;
- снижение концентрации растворенного в воде кислорода до 2 мг/л и менее;
- увеличение биохимического потребления кислорода (БПК);
- массовая гибель водных организмов и растительности.

Почвы и земли

- содержание техногенных поллютантов в концентрациях 50 ПДК и более;
- резкие изменения состояния посевов, не связанные с метеоусловиями, на площади более 50% отдельного поля;
- наличие несанкционированных свалок токсичных отходов.

Радиоактивное заражение окружающей среды

- массовое заболевание и гибель рыбы и других водных организмов и растений;
- отклонение от нормального развития икры, личинок и молоди рыбы;
- нарушение путей миграции рыбы;
- массовые заболевания и гибель животных, в том числе диких, при уровне в три раза и более критического;
- изменение в состоянии лесных экосистем, не связанное с метеоусловиями;
- изменение окраски листвы или хвои на несвойственную древесным и кустарниковым породам в данной местности (сезоне);
- опадение (дефолиация), усыхание (десикация) 30-50% листвы (хвои) и др.

Методы и организация комплексного геоэкологического мониторинга

Требования к содержанию

- мониторинг должен носить *комплексный характер*, то есть охватывать всю совокупность природных объектов и воздействующие на них факторы (антропогенные и естественные), всю совокупность процессов, происходящих в природе, использовать по возможности все методы получения информации об экосистемах;
- *систематичность и оперативность* получения информации;
- *репрезентативность* (представительность) информации;
- *синхронность* мониторинга изучаемой и контрольной экосистем и процессов в них.

наземный мониторинг

Использует геофизический, геохимический, индикационный методы исследований

- *геофизический* – изучение процессов поступления и превращения вещества и энергии в экосистемах на основе балансового подхода. Сравнение структуры балансов трансформированной и ненарушенной экосистемы (фоновый мониторинг) позволяет выявить направление и степень изменений в исследуемой экосистеме.

- *геохимический* – изучение функционирования и развития экосистем с помощью анализа миграции химических веществ и элементов. Дает возможность определить закономерности изменения химического состава природных компонентов и комплексов, их устойчивость к различным веществам и способности к самоочищению, выявить вероятность формирования техногенных аномалий, скорости распространения и пространственные масштабы загрязнения. Эта информация необходима для оценки современного состояния окружающей среды и решения задач прогнозного характера.

- *индикационный* – определение состояния одного объекта по состоянию другого, связанного с первым и более доступного для изучения. Ведущую роль играет *биоиндикация* – выявление состояния природной среды с помощью живых организмов, в основном, растений с помощью четырех признаков: физиологического, морфологического, фитоценологического и флористического. Первые два дают информацию об одномоментных состояниях среды, два последних – о многолетних интервалах антропогенного воздействия.

Таблица 1

Система наземного мониторинга окружающей среды (Денисов, 2004)

Ступени мониторинга	Объекты мониторинга	Характеризуемые показатели мониторинга
Биологический (санитарно-гигиенический)	Приземный слой воздуха Поверхностные и грунтовые воды, промышленные и бытовые стоки и различные выбросы Радиоактивные излучения	ПДК различных веществ Физиологические и биологические раздражители (шумы, аллергены и др.) Предельная степень радиоактивности
Геосистемный (природно-хозяйственный)	Исчезающие виды животных и растений Природные экосистемы Агроэкосистемы	Популяционное состояние видов Их структура и нарушения Урожайность сельскохозяйственных структур
Биосферный (глобальный)	Атмосфера Гидросфера ОКП Растительный и почвенный покров Животное население	Радиационный баланс, тепловой перегрев, космическая погода, состав и запыление Загрязнение рек и водоемов, водные бассейны, круговорот воды на континентах Глобальные характеристики состояния почв, растительного покрова и животных Глобальные круговороты и баланс CO ₂ , O ₂ и других веществ

аэрокосмический мониторинг

авиационный мониторинг – ориентирован на региональные или локальные явления (лесные пожары, инвентаризация лесов, горных районов и т.д.)

космический мониторинг – наблюдения больших площадей.

картографический мониторинг- контроль, оценка и прогноз состояния окружающей среды с помощью построения и анализа карт различного содержания. Картографирование позволяет привязать изучаемые процессы в конкретной местности, служит системой координат для всех видов мониторинга. Реализация картографического метода включает в себя (Емельянов, 1994): а) создание фонда базовой картографической информации, содержащего различные карты, составленные на основе имеющихся к началу наблюдений материалов; б) сбор, обработку и систематизацию оперативных данных аэрокосмических и наземных наблюдений с целью их картографирования; в) перевод обработанных данных в картографическую форму - построение оперативных карт наблюдаемых явлений, условий их распространения и происходящих при этом изменений; г) анализ по-

строенных карт с целью выявления закономерностей распространения наблюдаемых явлений, оценки и прогноза состояния экосистем.

моделирование как метод получения мониторинговой информации - метод исследования сложных объектов, явлений и процессов путем их имитирования.

Реальные (материальные) модели. Например, аквариум, гидротехнические сооружения. Одна из самых интересных моделей – модель С. Миллера (1953) образования белковых соединений в первичном океане Земли. Закрытая система, содержащая CH_4 , NH_3 , H_2 , H_2O была помещена в закрытую флягу, которую кипятили для ускорения циркуляции газов, и пропускали через нее электрический разряд. Через неделю оказалось, что вода содержит большое количество двух простых аминокислот, глицина и аланина, присутствующих во всех белках.

Идеальные (мысленные) модели. Зависимости между различными процессами, представляемые в виде тех или иных построений (графиков, таблиц и т.д.). Наибольшее распространение получило *математическое моделирование*, при помощи которого изучаются свойства наиболее сложных систем. Например, в России в 1982 г. была создана модель динамики атмосферы, учитывавшая несколько сотен параметров биосферы, в 1983 г. – модель «ядерной зимы» как результат ядерной войны. С помощью подобной модели был с большой степенью вероятности подтвержден факт падения астероида в районе Юкатанского п-ва 65 млн. лет назад. Считается, что в результате «ядерной зимы» после взрыва, вызванного этим падением, вымерли динозавры.

Мониторинг и геоинформационные системы. Автоматизированные системы сбора, хранения, анализа экологической информации в настоящее время являются основой геоэкологического мониторинга окружающей среды.

Основные контролируемые параметры и нормирование загрязнений природной среды

В соответствии с природоохранительным законодательством Российской Федерации (*Федеральный закон «Об охране окружающей среды»*) нормирование качества окружающей природной среды производится с целью установления предельно допустимых норм воздействия, гарантирующих экологическую безопасность населения, сохранение генофонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности [4, статья 25]. При этом под *воздействием* понимается антропогенная деятельность, связанная с реализацией экономических, рекреационных, культурных интересов и вносящая физические, химические, биологические изменения в природную среду.

Допустимой считается такая нагрузка, *под воздействием которой отклонение от нормального состояния системы не превышает естественных изменений и, следовательно, не вызывает нежелательных последствий у живых организмов и не ведет к ухудшению качества среды.*

Вредными называют все вещества, воздействие которых на биологические системы может привести к отрицательным последствиям. Кроме того, как правило, все **ксенобиотики** (чужеродные для живых организмов, искусственно синтезированные вещества) рассматривают как вредные.

Порог вредного действия — это минимальная доза вещества, при воздействии которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических и приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология. Таким образом, пороговая доза вещества (или пороговое действие вообще) вызывает у биологи-

ческого организма отклик, который не может быть скомпенсирован за счет гомеостатических механизмов (механизмов поддержания внутреннего равновесия организма).

Предельно допустимые концентрации (ПДК) — нормативы, устанавливающие концентрации вредного вещества в единице объема (воздуха, воды), массы (пищевых продуктов, почвы) или поверхности (кожа работающих), которые при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияют на здоровье человека и не вызывают неблагоприятных последствий у его потомства.

Токсичность - способность веществ вызывать нарушения физиологических функций организма, что в свою очередь приводит к заболеваниям (интоксикациям, отравлениям) или, в тяжелых случаях, к гибели. Фактически токсичность — мера несовместимости вещества с жизнью.

Токсическая доза — (степень токсичности) количество вещества (отнесенное, как правило, к единице массы животного или человека), вызывающее определенный токсический эффект. Чем меньше токсическая доза, тем выше токсичность. Различают **средне-смертельные (ЛД₅₀)**, **абсолютно смертельные (ЛД₁₀₀)**, **минимально смертельные (ЛД_{0.10})** и др. дозы. Цифры в индексе отражают вероятность (%) появления определенного токсического эффекта — в данном случае, смерти, в группе подопытных животных. Следует иметь в виду, что величины токсических доз зависят от путей поступления вещества в организм. Доза ЛД₅₀ (гибель половины подопытных животных) дает значительно более определенную в количественном отношении характеристику токсичности, чем ЛД₁₀₀ или ЛД₀. В зависимости от типа дозы, вида животных и пути поступления, выбранных для оценки, порядок расположения веществ на шкале токсичности может меняться. Величина токсической дозы не используется в системе нормирования.

Санитарно-гигиенические и экологические нормативы определяют качество окружающей среды по отношению к здоровью человека и состоянию экосистем, но не указывают на источник воздействия и не регулируют его деятельность. Требования, предъявляемые собственно к источникам воздействия, отражают **научно-технические нормативы**. К научно-техническим нормативам относятся нормативы выбросов и сбросов вредных веществ (**ПДВ и ПДС**), а также технологические, строительные, градостроительные нормы и правила, содержащие требования по охране окружающей природной среды. В основу установления научно-технических нормативов положен следующий принцип: при условии соблюдения этих нормативов предприятиями региона содержание любой примеси в воде, воздухе и почве должно удовлетворять требованиям санитарно-гигиенического нормирования.

Научно-техническое нормирование предполагает введение ограничений деятельности хозяйственных объектов в отношении загрязнения окружающей среды, иными словами, определяет предельно допустимые потоки вредных веществ, которые могут поступать от источников воздействия в воздух, воду, почву. Таким образом, от предприятий требуется не собственно обеспечение тех или иных ПДК, а соблюдение пределов выбросов и сбросов вредных веществ, установленных для объекта в целом или конкретных источников, входящих в его состав. Зафиксированное превышение величин ПДК_в или ПДК_{мр} в окружающей среде *само по себе* не является нарушением со стороны предприятия, хотя, как правило, служит сигналом невыполнения установленных научно-технических нормативов (или свидетельством необходимости их пересмотра).

Постановлением Правительства РФ от 3 августа 1992 года № 545 принят "Порядок разработки и утверждения экологических нормативов выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, лимитов использования природных ресурсов, размещения отходов".

Предельно допустимый выброс (ПДВ) — масса вещества в отходящих газах, максимально допустимая к выбросу в атмосферу в единицу времени; ПДВ устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы (и для каждой примеси, выбрасываемой этим источником) таким образом, что выбросы вредных веществ от данного источника и

от совокупности источников города или другого населенного пункта с учетом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере не создают приземную концентрацию, превышающую их ПДК_{мр}; основные значения ПДВ — максимальные разовые — устанавливаются при условии полной нагрузки технологического и газоочистного оборудования и их нормальной работы и не должны превышать в любой 20-минутный период времени.

Предельно допустимый сброс (ПДС) — масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте; ПДС — предел по расходу сточных вод и концентрации содержащихся в них примесей — устанавливается с учетом предельно допустимых концентраций веществ в местах водопользования (в зависимости от вида водопользования), ассимилирующей способности водного объекта, перспектив развития региона и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями, сбрасывающими сточные воды.

Нормирование качества воздуха

Под **качеством атмосферного воздуха** понимают совокупность свойств атмосферы, определяющую степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Нормативами качества воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ как в **производственной** (предназначенной для размещения промышленных предприятий, опытных производств научно-исследовательских институтов и т.п.), так и в **селитебной** зоне (предназначенной для размещения жилого фонда, общественных зданий и сооружений) населенных пунктов. Основные термины и определения, касающиеся показателей загрязнения атмосферы, программ наблюдения, поведения примесей в атмосферном воздухе определены ГОСТом 17.2.1.03-84. **Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения.**

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК_{рз}) — концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов, или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю, на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Рабочей зоной следует считать пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Как следует из определения, ПДК_{рз} представляет собой норматив, ограничивающий воздействие вредного вещества на взрослую работоспособную часть населения в течение периода времени, установленного трудовым законодательством. Совершенно недопустимо сравнивать уровни загрязнения селитебной зоны с установленными ПДК_{рз}, а также говорить о ПДК в воздухе вообще, не уточняя, о каком нормативе идет речь.

Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДК_{мр}) — концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, не вызывающая при вдыхании в течение 20 минут рефлекторных (в том числе, субсенсорных) реакций в организме человека.

Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДК_{сс}) — это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании. Таким образом, ПДК_{сс} рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-

гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде. Именно величина ПДК_{сс} может выступать в качестве «эталона» для оценки благополучия воздушной среды в жилой зоне. Но использование этого норматива в качестве единицы измерения (пять ПДК_{сс} по оксидам азота) — абсурдно!

Таблица 1

Соотношение различных видов ПДК в воздухе для некоторых веществ

Вещество	ПДК _{сс} , мг/м ³	ПДК _{мр} , мг/м ³	νПДК _{рз} , мг/м ³
Азота оксид (II)	0,06	0,6	30
Кобальта сульфат	0,0004	0,001	0,005
4-хлоранилин	0,01	0,04	0,30

Понятие ПДК_{мр} используется при установлении научно-технических нормативов — предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ. В результате рассеяния примесей в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях на границе санитарно-защитной зоны предприятия концентрация вредного вещества в любой момент времени не должна превышать ПДК_{мр}.

Комплексный показатель загрязнения атмосферы (совместно несколькими загрязняющими веществами), рекомендованный методической документацией Госкомэкологии, — комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Его рассчитывают как сумму нормированных по ПДК_{сс} и приведенных к концентрации диоксида серы средних содержаний различных веществ:

$$Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{ср i}}{ПДК_{сс i}} \right)^{c_i},$$

где Y_i — единичный индекс загрязнения для i -ого вещества;

$q_{ср i}$ — средняя концентрация i -ого вещества;

$ПДК_{сс i}$ — ПДК_{сс} для i -ого вещества;

c_i — безразмерная константа приведения степени вредности i -ого вещества к вредности диоксида серы, зависящая от того, к какому классу опасности (см. ниже) принадлежит загрязняющее вещество.

Таблица 2

Классы опасности загрязняющих веществ

Классы опасности	1	2	3	4
Константа c_i	1,7	1,3	1,0	0,9

Оценка загрязнения воздуха

Негативное воздействие загрязнения воздушного бассейна происходит в результате прямого контакта с загрязненным воздухом и в результате выпадения загрязняющих веществ из атмосферы и вторичного загрязнения вод и почв.

Концентрация загрязняющих веществ от отдельных локальных источников в результате процессов рассеяния и выпадения примесей довольно быстро убывает с расстоянием. Максималь-

ные концентрации отмечаются на расстоянии 10 – 20 высоты трубы, из которой происходит выброс загрязнителей. Поэтому опасные для здоровья человека концентрации от таких источников наблюдаются, как правило, на площади не более 10 – 100 км². Для хвойных лесов, чувствительность которых к загрязнению атмосферы в несколько раз выше, чем у человека, площадь поражения растительности может достигать 100 – 1000 км².

В крупных промышленных агломерациях происходит наложение загрязнения от отдельных источников, и общая площадь негативного воздействия может быть близкой к площади самой агломерации или превосходить ее. При оценке возможного неблагоприятного влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения используют результаты измерения, выполненные в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.01 – 86 на стационарных, маршрутных и передвижных постах наблюдения.

Степень загрязнения атмосферного воздуха устанавливают по кратности превышения ПДК с учетом класса опасности, суммации биологического действия загрязнений воздуха и частоты превышения ПДК. В соответствии с действующими ПДК для оценки степени загрязнения воздуха используют фактические максимально разовые и среднесуточные концентрации за последние несколько лет, но не менее чем за 2 года. Результаты измерений обрабатывают и представляют для каждого поста, вещества и года наблюдения раздельно. По каждому веществу должно быть не менее 200 наблюдений (проб).

Оценка загрязнения атмосферного воздуха по максимально разовым (разовым) концентрациям.

Для повышения надежности оценки результатов измерений и исключения случайных величин используют статистическую обработку материала, позволяющую с учетом вариаций концентраций получить такое значение, которое в 95% случаев будет на уровне или ниже расчетной концентрации С₉₅. Расчет С₉₅ проводится одним из статистико-расчетных или графических методов.

Кратность превышения К рассчитывается делением показателя С₉₅ на максимальную разовую ПДК:

$$K = \frac{C_{95}}{ПДК}.$$

Критерий оценки степени загрязнения атмосферного воздуха по максимальным разовым концентрациям.

Класс опасности	Экологическое бедствие (ст. 59)		Чрезвычайная экологическая ситуация (ст. 58)	
Загрязнения	К	% измерений превышающие ПДК	К	% измерений превышающие ПДК
I	5	30	3 – 5	30
II	7,5	30	5 – 7,5	30
III	12,5	50	8 – 12,5	50
IV	20	50	12,5 – 20	50

Если в атмосферном воздухе присутствуют вещества, обладающие эффектом суммации биологического действия, то С₉₅пр определяется по формуле:

$$C_{95_{пр}} = C_1 + C_2 \frac{ПДК_1}{ПДК_2} + C_3 \frac{ПДК_1}{ПДК_3} + \dots + C_n \frac{ПДК_1}{ПДК_n},$$

где С – концентрация.

Степень загрязнения атмосферного воздуха для комбинации суммирующих веществ оценивается по приведенной концентрации. Сумму таких веществ рекомендуется приводить к веществу, обладающему менее благоприятным классом опасности.

Оценка степени загрязнения атмосферного воздуха по среднесуточным концентрациям.

Для оценки степени загрязнения используют среднесуточные пробы, полученные путем непрерывной аспирации в течение 24 ч. Или прерывистой аспирации как минимум 4 раза в сутки через равные интервалы времени. Все концентрации из отобранных среднесуточных проб подвергают анализу.

Для каждой среднесуточной концентрации рассчитывают кратность превышения показателя К. Определенный по этому показателю ряд за анализируемый период (год) оценивают в соответствии с критериями, приведенными в таблице. Показатели степени загрязнения атмосферного воздуха по среднесуточным концентрациям.

Класс опасности	Экологическое бедствие (ст. 59)		Чрезвычайная экологическая ситуация (ст. 58)	
	К	% проб выше К	К	% проб выше К
Загрязнения				
I	3	20 или 7 дней подряд	2 – 3	20 или 7 дней подряд
II	5	То же	3 – 5	То же
III	7,5	30 дней	5 – 7,5	30 дней
IV	12	30 дней	8 – 12	30 дней

Если наблюдается комбинация веществ, обладающих эффектом суммации, то рассчитывают приведенную среднесуточную концентрацию $C_{\text{с.пр.}}$.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха по среднегодовым концентрациям.

Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе рассчитывают по ГОСТ 17.2.3.01 – 86 или используют данные «Ежегодников о состоянии загрязнения воздуха городов и промышленных центров» за несколько лет, но не менее двух.

Степень загрязнения воздуха рассчитывается с учетом кратности превышения среднегодового ПДК веществ, их класса опасности, допустимой повторяемости концентраций заданного уровня, количества веществ, одновременно присутствующих в воздухе и коэффициента их комбинированного действия.

Среднегодовые значения ПДК_г выражаются через среднесуточную величину ПДК_с по соотношению:

$$ПДК_{г} = aПДК_{с}.$$

Значения коэффициента «а» приведены ниже.

Вещество	Коэффициент
Аммиак, азота оксид, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, марганца диоксид, озон, серы диоксид, сероуглерод, синтетические жирные кислоты, фенол, формальдегид, хлоропрен	1
Трихлорэтилен	0,4
Амины, анилин, взвешенные вещества (пыль), углерода оксид, хлор	0,34
Сажа, серная кислота, фосфорный ангидрид, фториды (твердые)	0,3
Ацетальдегид, ацетон, диэтиламин, толуол, фтористый водород, хлористый водород, этилбензол	0,2
Акролеин	0,1

Степень загрязнения воздуха веществами разных классов опасности определяется «приведением» их концентраций, нормированных по ПДК, к концентрациям веществ III класса опасности по формуле:

$$KZ_{\text{кл}} = K,$$

где n – коэффициент изoeffективности; j – класс опасности ($n = 2,3$ для $j = I$, $n = 1,3$ для $j = II$, $n = 0,87$ для $j = IV$).

При нормированных по ПДК концентрациях выше 2,5 для II класса, выше 8 для III класса и выше 11 для IV класса «приведение» к III классу осуществляется умножением значений нормированных по ПДК концентраций соответственно на 3,2; 1,6; 1 и 0,7.

Если атмосферный воздух загрязнен веществами, относящимися к разным классам опасности, то рассчитывают комплексный показатель P по формуле:

$$P = \text{Sqrt}(\text{Sum}(K_j 2^j)),$$

где $Sqrt(\sum(K_j^2 j))$ – квадратный корень из суммы квадратов нормированных по ПДК концентраций, приведенных к таковым концентрациям веществ III класса; j – номер вещества.

Оценка степени суммарного загрязнения атмосферного воздуха по комплексному показателю P проводится по данным следующей таблицы.

Номер вещества	Параметры		Относительно удовлетворительная ситуация
	Экологическое бедствие (ст. 59)	Чрезвычайная экологическая ситуация (ст. 58)	
1	>16	8 – 16	1
2	>32	16 – 32	2 – 4
3	>48	32 – 48	5 – 9
4	>64	48 – 64	10 – 16
5	>80	64 – 80	16 – 25

При этом, если в комплексном показателе значение любого вещества превышает величину показателя для одного вещества, то в этом случае степень загрязнения оценивается и по этому веществу.

Нормирование качества воды

В соответствии с Санитарными правилами и нормами **СанПиН 2.1.4.559-96** *питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства*. Под **качеством воды** в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования; при этом **показатели качества** представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

По санитарному признаку устанавливаются микробиологические и паразитологические показатели воды (число микроорганизмов и число бактерий группы кишечных палочек в единице объема). **Токсикологические показатели** воды, характеризующие безвредность ее химического состава, определяются содержанием химических веществ, которое не должно превышать установленных нормативов. Наконец, при определении качества воды учитываются **органолептические** (воспринимаемые органами чувств) свойства: температура, прозрачность, цвет, запах, вкус, жесткость.

Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения определены Санитарными правилами и нормами **СанПиН 2.1.4.544-96**, причем нормируются запах, вкус, цветность, мутность, коли-индекс, а также указывается, что содержание химических веществ не должно превышать значений соответствующих предельно допустимых концентраций (ПДК).

Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_в) — это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей (ПДК_{вр}) — это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

ПДК для разных водоемов

Вещество	ПДК _{вр} , мг/дм ³	ПДК _в , мг/дм ³
Ртуты неорганические соединения (по Нг)	0,0001	0,0005
Аммония фторид (по фтору)	0,05	0,7
Триэтаноламин	0,01	1,0

При интерпретации результатов мониторинга состояния водной среды важно знать, к какому типу водных объектов отнесены река, озеро, водохранилище, и использовать для оценки ситуации соответствующие нормативы.

В гидрохимической практике используется и метод интегральной оценки качества воды, по совокупности находящихся в ней загрязняющих веществ и частоты их обнаружения.

В этом методе для каждого ингредиента на основе фактических концентраций рассчитывают баллы кратности превышения ПДК_{вр} — K_i и повторяемости случаев превышения H_i , а также общий оценочный балл — B_i :

$$K_i = C_i / \text{ПДК}_i;$$

$$H_i = N_{\text{пдк}i} / N_i;$$

$$B_i = K_i \cdot H_i,$$

где C_i — концентрация в воде i -го ингредиента;

ПДК _{i} — предельно допустимая концентрация i -го ингредиента для водоемов рыбохозяйственного назначения;

$N_{\text{пдк}i}$ — число случаев превышения ПДК по i -му ингредиенту;

N_i — общее число измерений i -го ингредиента.

Ингредиенты, для которых величина общего оценочного балла больше или равна 11, выделяются как лимитирующие показатели загрязненности (ЛПЗ). Комбинаторный индекс загрязненности рассчитывается как сумма общих оценочных баллов всех учитываемых ингредиентов. По величине комбинаторного индекса загрязненности устанавливается класс загрязненности воды.

Также оценка качества воды и сравнение современного состояния водного объекта с установленными в прошлые годы характеристиками проводятся на основании индекса загрязнения воды по гидрохимическим показателям (ИЗВ). Этот индекс представляет собой формальную характеристику и рассчитывается усреднением как минимум пяти индивидуальных показателей качества воды. Обязательны для учета следующие показатели: концентрация растворенного кислорода, водородный показатель pH и биологическое потребление кислорода БПК₅.

Нормирование качества почвы

В СССР был установлен лишь один норматив, определяющий допустимый уровень загрязнения почвы вредными химическими веществами — ПДК для пахотного слоя почвы. Принцип нормирования содержания химических соединений в почве основан на том, что поступление их в организм происходит преимущественно через контактирующие с почвой

среды. Основные понятия, касающиеся химического загрязнения почв, определены ГОС-Том 17.4.1.03-84. **Охрана природы. Почвы. Термины и определения химического загрязнения.**

Предельно допустимая концентрация в пахотном слое почвы (ПДК_п) — это концентрация вредного вещества в верхнем, пахотном слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы.

Оценка уровня химического загрязнения почв населенных пунктов проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов. Такими показателями являются **коэффициент концентрации химического элемента K_c и суммарный показатель загрязнения Z_c .**

Коэффициент концентрации определяется как отношение реального содержания элемента в почве C к фоновому C_{ϕ} :

$$K_c = C/C_{\phi}.$$

Поскольку часто почвы загрязнены сразу несколькими элементами, то для них рассчитывают суммарный показатель загрязнения, отражающий эффект воздействия группы элементов:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n - 1)$$

где K_{ci} — коэффициент концентрации i -ого элемента в пробе;

n — число учитываемых элементов.

Таблица 4.

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю		
Категории загрязнения почв	Величина Z_c	Изменение показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	меньше 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общего уровня заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционирования сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	больше 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение случаев токсикоза при беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных).

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в продуктах питания

При разработке нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в продуктах питания учитываются материалы по токсикологии и гигиеническому нормированию данных веществ в различных объектах природной среды (в воздухе, воде, почве), а также информация о естественном содержании различных химических элементов в пищевых продуктах.

Предельно допустимая концентрация (допустимое остаточное количество) вредного вещества в продуктах питания (ПДК_{пр}) — это концентрация вредного вещества в продуктах питания, которая в течение неограниченно продолжительного времени (при ежедневном воздействии) не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья человека.

Санитарно-гигиеническое нормирование загрязненности пищевых продуктов касается главным образом пестицидов, а также тяжелых металлов и некоторых анионов (например, нитратов). Отметим, что при интерпретации результатов не следует использовать ПДК_{пр} как стандарт, принятый для любых объектов биоты. Например, описание исследования накопления соединений ртути в тканях чаек не может заканчиваться выводами о превышении ПДК_{пр}. Целесообразнее обращаться к литературным сведениям о накоплении ртути в аналогичных объектах в фоновых и в хорошо изученных загрязненных районах.

Таблица 5.

Классы опасности химических соединений
в зависимости от характеристик их токсичности

Показатели	Классы опасности			
	I чрезвычайно опасные	II высокоопасные	III умеренно опасные	IV малоопасные
ПДК _{рз} , мг/м ³	меньше 0,1	0,1-1,0	1-10	больше 10
ЛД ₅₀ при введении в желудок, мг/кг массы тела	меньше 15	15-150	150-5000	больше 5000

Нормирование в области радиационной безопасности

Система нормирования в области радиационной безопасности в России претерпела существенные изменения в последние несколько лет. Действующая система нормирования в этой области строится на понятии дозовой нагрузки. Основными документами, в соответствии с которыми осуществляется радиационный контроль за безопасностью населения, являются **Федеральный Закон «О радиационной безопасности населения»** и принятые в его развитие **«Нормы радиационной безопасности НРБ-96»**.

В системе нормирования используются следующие основные понятия:

Поглощенная доза — фундаментальная дозиметрическая величина, определяемая количеством энергии, переданной излучением единице массы вещества:

$$D_n = \frac{dE}{dm}.$$

За единицу поглощенной дозы облучения принимается **грей (джоуль на килограмм)** — поглощенная доза излучения, переданная массе облучаемого вещества в 1 кг и измеряемая энергией в 1 Дж любого ионизирующего излучения ($1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$).

В качестве внесистемной единицы практической дозиметрии до настоящего времени используется единица *рад*: $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$.

Эквивалентная доза. Поскольку поражающее действие ионизирующего излучения зависит не только от поглощенной дозы, но и от ионизирующей способности излучения (глубины его проникновения в живой организм), вводится понятие эквивалентной дозы.

$$D_{\text{экв}} = D_n * K = H,$$

где K – коэффициент качества излучения. Минимальное значение $K=1$ соответствует случаю линейной передачи энергии.

Для расчета эквивалентной дозы поглощенную дозу умножают на коэффициент, отражающий способность данного вида излучения повреждать ткани организма. При этом альфа-излучение считается в двадцать раз опаснее других видов излучений.

Единицей эквивалентной дозы является зиверт — доза любого вида излучения, поглощенная в 1 кг биологической ткани, создающая такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр фотонного излучения.

Эффективная эквивалентная доза. Следует учитывать, что одни части тела (органы) более чувствительны к радиационным повреждениям, чем другие. Поэтому дозы облучения органов и тканей учитываются с различными коэффициентами. Эффективная эквивалентная доза отражает суммарный эффект облучения для организма; она также измеряется в зивертах.

Таблица 1

Вид ионизирующего излучения	Значение K
Рентгеновское и гамма-излучения	1
Бэта-излучение (электроны, позитроны)	1
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 МэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 – 10 МэВ	10
Альфа-излучение с энергией 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} * 1 (K=1) = 100 \text{ рад} * 1 (K=1) = 100 \text{ бэр}$$

Здесь 1 бэр – биологический эквивалент рентгена, применявшийся ранее, и соответствующий 1 рад при $K=1$.

Биологическое действие продуктов радиоактивности

В результате действия ионизирующих излучений происходит деструкция атомных и молекулярных связей в живой клетке.

Образуются различные радикалы, которые связываются в соединения, не свойственные тканям биологических объектов.

Ионизация производит расщепление молекул воды на водород и гидроксильную группу, что приводит к нарушению биохимии процессов.

Под действием ионизации может происходить торможение функций кроветворных органов, подавление функций иммунной системы и половых желез, канцерогенные реакции и т.д.

Внешнее облучение

Источник находится вне организма и продукты радиоактивности не попадают внутрь организма. Здесь наиболее опасны бета-, гамма-, рентгеновское и нейтронное облучение.

Внутреннее облучение

Возможные пути попадания: дыхательная система, пищеварительная система. Редко – через кожу.

Фоновое облучение

Средняя годовая доза фонового радиоактивного облучения составляет примерно 240÷250 мбэр:

- внутреннее облучение – 135 мбэр;
- источники земного происхождения – 35 мбэр;
- космическое излучение – 30 мбэр;
- рентгенодиагностика – 35-40 мбэр;
- прочие – 2-5 мбэр.

Заболевания, вызванные воздействием ионизирующих излучений:

- **острая лучевая болезнь** – возникает при облучении большими дозами за короткое время;
- **хроническая лучевая болезнь** – облучение малыми дозами в течение длительного времени.

Последствия при однократном облучении:

- менее 50 бэр – отсутствие клинических симптомов;
- 50÷100 бэр – незначительное недомогание;
- 100÷200 бэр – легкая степень лучевой болезни;
- 200÷400 бэр – тяжелая степень лучевой болезни;
- 600 бэр и более – крайне тяжелая степень (летальный исход).

Категории облучаемых лиц (НРБ-96)

- **категория А (персонал)** – лица, постоянно или временно работающие с источниками ионизирующих излучений;
- **категория Б** – ограниченная часть населения, проживающая в зоне предприятий, работающих с радиоактивными источниками;
- **категория В** – остальное население.

Критические органы:

I – все тело, красный костный мозг;

II – мышцы, жировая ткань, печень, почки, селезенка, легкие, хрусталик глаза

III – кожный покров, костная ткань, конечности.

Таблица 2

Дозовые пределы облучения для категории А и Б

Дозовые пределы, бэр/год	Группа критических органов		
	I	II	III
Предельно допустимая доза для категории А	5	15	30
Предельно допустимая доза для категории Б	0,5	1,5	3

Предельно допустимая доза (ПДД) – наибольшая мера индивидуальной эквивалентной дозы за год, при которой не вызывается неблагоприятных явлений в организме за 50 лет непрерывной работы.

Эквивалентная доза H – накопленная в критическом органе за время T (лет) с начала работы с источниками не должна превышать величины $H=ПДВ \cdot T$.

Таблица 3

Нормируемые величины	Основные дозовые пределы	
	лица из персонала (группа А)	лица из населения (группа В)
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в:		
хрусталике	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	50 мЗв	500 мЗв

Средства мониторинга и контроля состояния окружающей природной среды

Контроль загрязнения атмосферы

Первые попытки изучения атмосферы были предприняты М.В. Ломоносовым. Первая служба погоды появилась в России в 1872 г. Множеством экспериментов подтверждена связь между загрязнением атмосферы и Ии метеорологическими параметрами.

Метеорология – наука о земной атмосфере, ее строении, свойствах и происходящих в ней процессах. Свойства атмосферы и происходящие в ней процессы рассматриваются в связи со свойствами и влиянием подстилающей поверхности (суши и моря). Главная задача метеорологии – прогнозирование погоды на различные сроки.

Метеорологическая станция – основной компонент регулярных наблюдений за состоянием атмосферы. Предназначена для:

- измерения температуры, давления и влажности воздуха;
- скорости и направления ветра;
- контроль облачности, уровня осадков, видимости, солнечной радиации.

Различают метеостанции *наземные* и *дрейфующие*, устанавливаемые на судах, на буйках в открытом море.

Наземная подсистема получения данных насчитывает 65 центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 21 гидрометеорологический центр, 21 гидрометеорологическую обсерваторию, 16 гидрометбюро, 18 авиаметеорологических центров, 343 авиаметстанции, 22 центра мониторинга загрязнения окружающей среды, 1606 гидрометеорологических станций, 4142 постов, включая ПНЗ, 140 аэрологических станций, 5 действующих станций в Антарктиде, 17 ионосферно-магнитных и 30 озонметрических станций. На 1450 станциях и постах проводятся радиометрические измерения. Загрязнение атмосферного воздуха определяется на 687 станциях в 299 городах.

Оборудование метеостанций

Термометр. Наиболее употребительны ртутный и спиртовой термометры – для измерения температуры воздуха, электротермометры – для измерения температуры почвы (термометры Савинова – до глубины 20 см, вытяжные – в скважинах до глубины 320 см). Разделяют срочные, минимальные и максимальные (между сроками) термометры. ***Термограф.***

Актинометр – измерение интенсивности солнечной радиации. Различают актинометры темозлектрические, термобиметаллические и т.д. Существует много типов приборов для измерения прямой и рассеянной радиации солнечного излучения, земной поверхности и атмосферы: ***пиргелиометры, актинометры, пиранометры, альбедометры, балансометры*** и др. Продолжительность солнечного освещения регистрируется ***гелиографами***.

Принцип действия любого пирометра. В простейшем визуальном пирометре с исчезающей нитью ток накала нити регулируют до тех пор, пока она не становится невидимой на фоне нагретой поверхности. Таким образом, определяется т.н. яркостная температура, а по ней находится истинная. Наиболее точны измерения, в которых в качестве приемника используется фотоэлектронный умножитель.

яркостная - температура абсолютно черного тела, яркость которого равна яркости наблюдаемой, определяется по закону Стефана-Больцмана.

эффektivная - температура, характеризующая полную энергию излучения тела, входящая в закон Вина.

цветовая - температура, при которой планковская спектральная кривая излучения тела близка к наблюдаемой спектральной кривой излучения. Источники, имеющие одинаковое распределение энергии в спектре имеют одинаковый цвет.

Анемометр – измерение скорости и направления ветра и газовых потоков. Наиболее простой прибор для измерения направления ветра – **флюгер** (флюгер Вильда снабжен специальной доской, по отклонению которой от вертикали определяется сила ветра). Наиболее точные результаты дает применение различных типов ***анемографов, анеморумбометров, анеморумбографов***.

Барометр – измерение атмосферного давления. Барометр ртутный, барометр-анероид. ***Барограф.***

Гигрометр – измерение абсолютной или относительной влажности воздуха, основанное на изменении длины человеческого волоса при изменении влажности. **Психрометр** – сравнение температур влажного и сухого термометров. Если прибор снабжен фиксирующей шкалой, то он называется ***гигрографом***.

Осадкомер – прибор для измерения уровня жидких и твердых осадков.

Метеорограф – прибор для комплексного измерения температуры, давления, влажности.

Автоматические метеорологические станции представляют собой телеметрические устройства, предназначенные для автономного измерения и передачи метеорологической информации. На рис. 1 показана автоматическая метеорологическая станция М-109, устанавливаемая в труднодоступных или необжитых районах (высокогорье, арктические острова, дрейфующие льды и т.д.). Она измеряет 10 метеовеличин с передачей через каждые 3 часа, штормовая информация передается через каждый час.

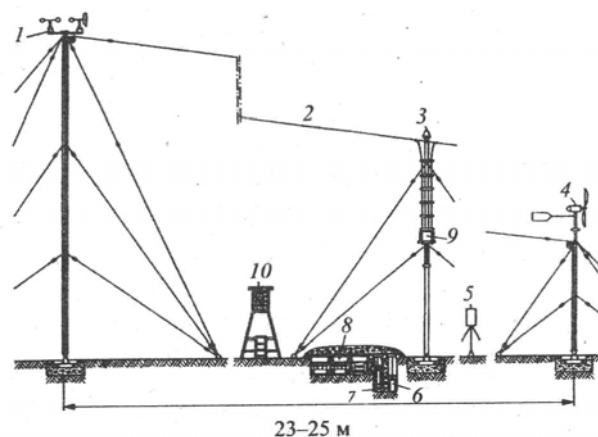


Рис. 1. Схема размещения АРМС М-109:

1 – датчик ветра, 2 – антенна, 3 – датчик солнечного сияния, 4 – ветрогенератор, 5 – осадкомер, 6 – блок автоматики, 7 – датчик давления, 8 – аккумулятор, 9 – радиопередатчик, 10 – датчик температуры

Контроль газового состава атмосферного воздуха

ДОАС-4Р полностью автоматизирован. В настоящее время – самый точный прибор в мире из рассматриваемого класса трассовых газоанализаторов. С помощью ДОАС-4Р в реальном времени и с большой точностью можно измерять концентрацию некоторых высокотоксичных газов, например хлора, паров ртути, сероводорода, паров соляной кислоты, циановодорода и фтороводорода. Кроме того, прибор может измерять концентрацию окислов азота, серы, углеводородов, формальдегида, озона и многих других загрязняющих атмосферу газов.

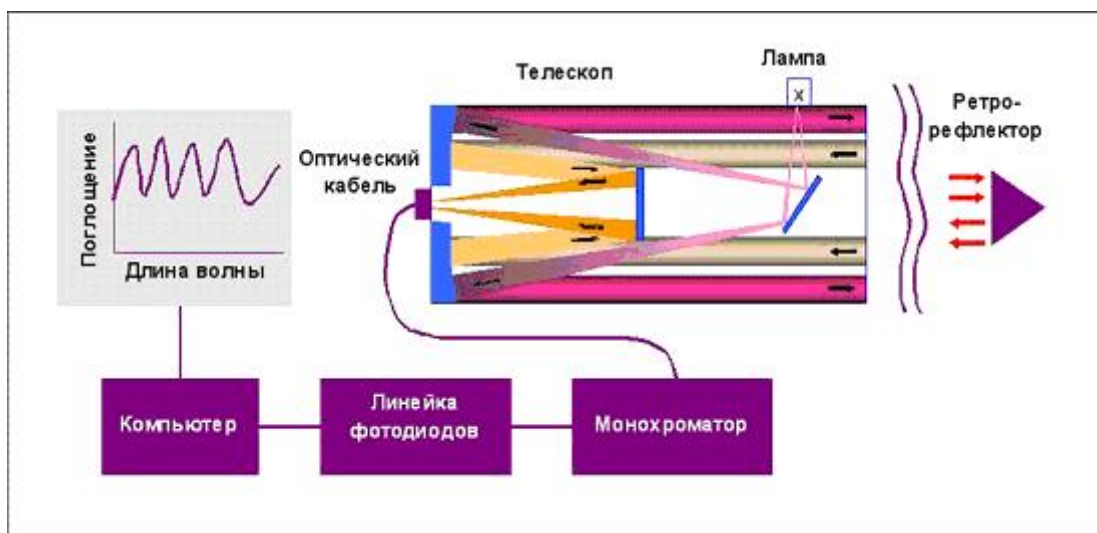


Рис. 2. Схема иллюстрирует, как световой пучок от ксеноновой лампы передается в атмосферу и после отражения ретрорефлектором возвращается в телескоп ДОАС-4Р. Затем по оптическому кабелю передается в монохроматор, где сканируется и анализируется

С помощью анализаторов такого типа в атмосфере определяется целый ряд газов: аммиак, окись азота, двуокись азота, азотистая кислота, двуокись серы, озон, формальдегид, бензол, толуол, фенол, этилбензол, бензальдегид, м-ксилол, п-ксилол, о-ксилол, м-

крезол, п-крезол, о-крезол, 2,3-диметилфенол, 2,4-диметилфенол, 2,5-диметилфенол, 2,6-диметилфенол, 3,4-диметилфенол, 3,5-диметилфенол, 1,2,4-триметилбензол, 1,3,5 – триметилбензол, 2,4,6 триметилфенол, 2-метилбензальдегид, 3-метилбензальдегид, 4-метилбензальдегид.

Эхолот – зондирование атмосферы с помощью звуковых волн. Позволяет выявлять зоны крупномасштабных изменений плотности атмосферы.

Радиолокатор, РЛС – зондирование атмосферы радиоволнами с длинами от метрового до миллиметрового диапазона. Позволяет выявлять различные объекты естественного и искусственного происхождения, движущиеся в атмосфере, определять их расстояние и скорость (используя эффект Доплера).

Определение расстояния s : $s = \frac{1}{2} c \tau$, где τ - время, прошедшее от момента излучения до момента приема отраженного сигнала, c – скорость света.

Определение скорости объекта по эффекту Доплера

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \Rightarrow v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} * c, \text{ где } \lambda - \text{длина волны излучения}$$

радиолокатора, $\Delta\lambda$ - изменение этой длины волны после отражения от цели (в короткую сторону – при приближении, в длинную – при удалении).

В метеорологических РЛС используется диапазон несущих частот 3000 – 30000 МГц (длины волн 10 – 1 см). Длительность зондирующего импульса 0,5 – 4 мкс. Частота повторения импульсов 200 – 1000 Гц. Угол диаграммы направленности зондирующего луча составляет от долей до 1,5°. Дальномерность действия метеорЛС - до 80-150 км.

С помощью метеорЛС распознаются все формы и виды облаков: Ci, Cs, As, Sc, Nc, St, Cu, Cb. Достоверность распознавания облачных систем 80-90%. Распознаются грозоопасные Cb и ливневый дождь, негрозовые Cb и негрозовые ливни. Интенсивность жидких и твердых осадков по градациям: слабые, умеренные, сильные, очень сильные. Распознаются слои температурных изотермий и инверсий. Зондирование атмосферы возможно до высот более 30 км.

Радиолокация осуществляется тремя способами: 1) облучение объекта и прием отраженного от него излучения; 2) облучение объекта и прием переизлученных (ретранслируемых) им волн; 3) прием радиоволн, излученных самим объектом.

Лидар – (*Light Detection and Ranging*) прибор для проведения лазерного зондирования атмосферы в оптическом диапазоне спектра. В обобщенном смысле лазер в лидаре используется как импульсный источник направленного светового излучения. В отличие от радиодиапазона, в световом диапазоне частот из-за малости длин волн особенно видимого и ультрафиолетового излучения отражателями локационного сигнала являются все молекулярные и аэрозольные составляющие атмосферы, т.е. по сути дела сама атмосфера формирует лидарный эхо-сигнал со всей трассы зондирования. Это позволяет осуществлять лазерное зондирование по любым направлениям в атмосфере.

Главным активным элементом лидара является источник лазерного излучения. Все основные энергетические, временные, пространственные, спектральные и поляризационные характеристики лазерного излучения, как правило, реализуются непосредственно в самом лазерном источнике. Они обычно контролируются на выходе с помощью блока контроля лазерного излучения. Чаще всего такой блок используется для измерения опорного сигнала и выработки сигнала запуска регистрирующей аппаратуры, а также для контроля длины волны лазерного излучения.

Для дополнительного уменьшения расходимости лазерного излучения используют оптические расширители пучка на основе зеркальных или линзовых, как в нашем лидаре, телескопов. Лазерный источник совместно с передающей антенной составляют лазерный передатчик лидара (или лидарный передатчик).

Приемная антенна лидара представляет собой телескоп, чаще всего зеркальный, построенный обычно по схеме Ньютона, когда фокус выводится плоским зеркалом под углом 90° к оптической оси главного параболического зеркала, или Кассегрена, когда фокус выводится вторичным гиперболическим зеркалом по оптической оси главного параболического зеркала через отверстие в центре последнего.

Лазеры создают луч очень острой направленности, с очень малой расходимостью. Площадь поперечного сечения лазерного луча может составить величину $\sim 10^{-6} \text{ см}^2$, плотность мощности - до 10 ТВт/см^2 .

Принцип лазерного зондирования атмосферы заключается в том, что лазерный луч при своем распространении рассеивается молекулами и неоднородностями воздуха, молекулами содержащихся в нем примесей, частицами аэрозолей, частично поглощается и изменяет свои физические параметры (частоту, форму импульса и т.д.). Появляется свечение (флюоресценция), что позволяет качественно и количественно судить о различных параметрах воздушной среды (давлении, температуре, влажности, концентрации газов...).

Лазерное зондирование атмосферы осуществляется преимущественно в ультрафиолетовом, видимом и микроволновом диапазоне. Использование лидаров с большой частотой следования импульсов малой длительности позволяет изучать динамику быстро протекающих процессов в малых объемах и в значительных толщах атмосферы.

Метод оптической локации. Аналогичен методу эхо- и радиолокации.

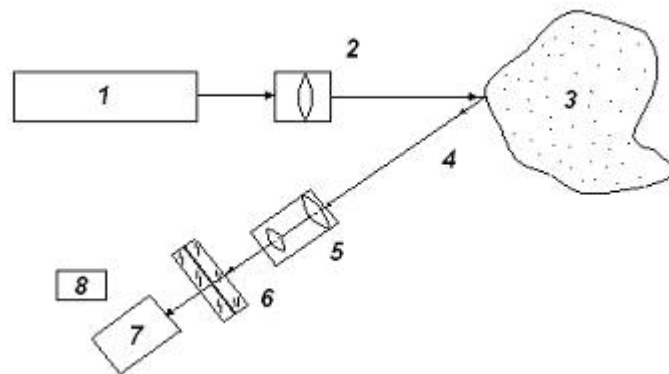


Рис. 2. Принципиальная схема лидара (Куклев, 2003).

1 – опорный лазерный источник; 2 – оптическая система; 3- объект исследования; 4 – рассеянное объектом излучение; 5- приемный телескоп; 6 – интерференционный фильтр; 7 – фотоприемник; 8 – блок обработки сигнала.

Опорный источник лазерного излучения 1 через оптическую систему 2 излучает короткий импульс $\Delta\tau$ мощностью W_0 . Часть 4 рассеянного объектом 3 излучения попадает в приемный телескоп 5, через него и интерференционный фильтр 6 на фотоприемник 7, сигнал с которого обрабатывается блоком 8.

В общем случае мощность W_{sc} рассеянного исследуемым объектом излучения как функция расстояния r до него определяется как

$$W_{sc}(r) = \sigma * W_0 * n(r) * k(r) * \frac{F\Delta r}{4\pi r^2},$$

где σ - сечение обратного рассеяния, $n(r)$ – концентрация рассеивающих частиц как функция расстояния, $k(r)$ – коэффициент пропускания атмосферы, F – параметр, учитывающий эффективность оптических систем и технические параметры эксперимента, $\Delta r = c\Delta\tau/2$ – глубина зондирования.

С помощью этого метода при частоте следования импульсов $10^3 - 10^4$ Гц и длительности импульса порядка 10^{-8} с можно получать до 10^4 профилей аэрозольных слоев с секунду.

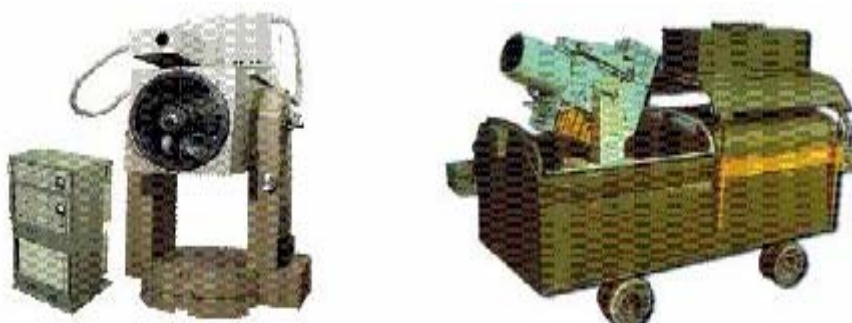


Рис. 3. Многоволновой лидар МВЛ-60 (МОБ) предназначен для оперативного дистанционного анализа характеристик атмосферного аэрозоля и облачных образований в атмосфере с помощью лазера, работающего на длинах волн 1064 (ИК), 532 (зеленый) и 355 (УФ) нм.

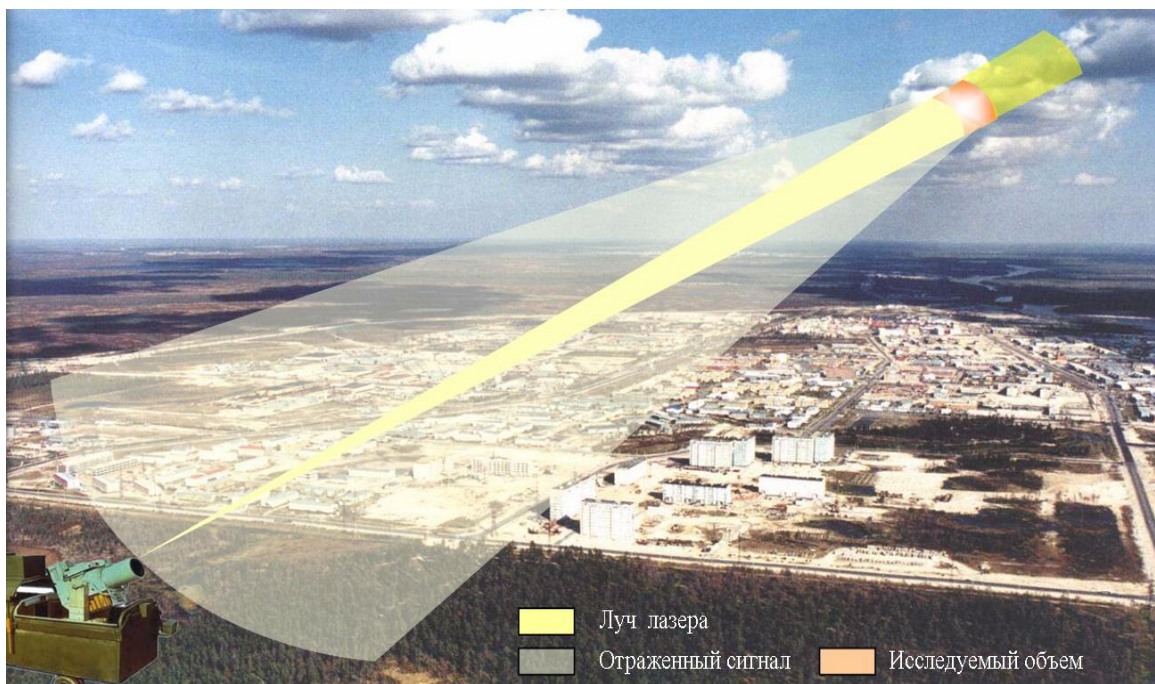


Рис. 4. Воздушный лидар

Недостаток: длина волны опорного излучения совпадает с длиной волны рассеянного излучения.

Метод комбинационного рассеяния

При рассеянии света газовыми молекулами происходит сдвиг частоты рассеянного излучения (эффект Мандельштама-Ландсберга – Рамана, 1928). Комбинационный сдвиг частот имеет каждая молекула газа, который характерен только для нее. Среда, состоящая из газовых молекул, имеет только ей присущий комбинационный спектр. Его регистрация позволяет определить наличие примесей исследуемой среде путем анализа сдвига полос поглощения.

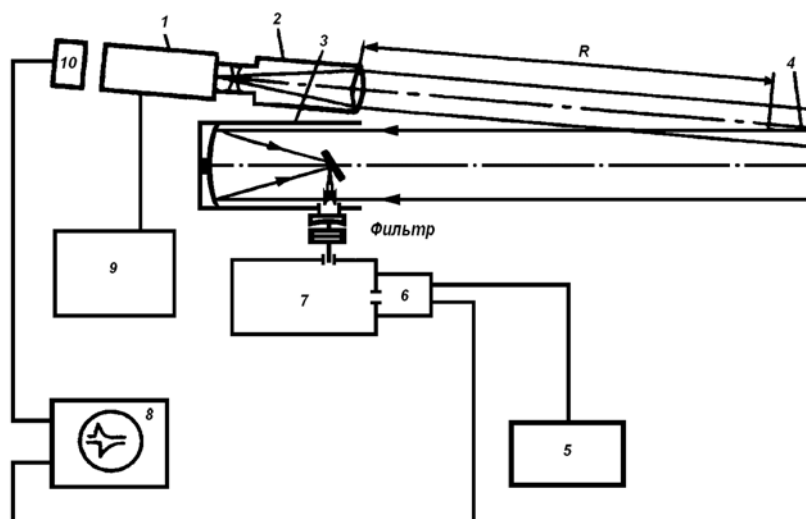


Рис. 5. Блок-схема установки для дистанционного анализа содержания состава атмосферы методом комбинационного рассеяния

1 – лазер; 2 – передающий телескоп; 3 – приемный телескоп; 4 – зона рассеяния; 5 – источник питания; 6 – фотоумножитель; 7 – монохроматор; 8 – двухлучевой осциллограф; 9 – источник питания; 10 – фотодиод

Из-за малого сечения комбинационного рассеяния этот метод применяется на небольших расстояниях – несколько десятков метров (например, для контроля вредных выбросов из дымовых труб).

На рис. 6 представлен спектр комбинационного рассеяния, полученный на продуктах сгорания нефти методом лазерного зондирования (Куклев, 2003).

Сечение – величина, в случае упругого рассеяния, равная отношению числа частиц, упруго рассеянных за единицу времени в единицу телесного угла к потоку падающих частиц (дифференциальное рассеяние $\frac{d\sigma}{d\Omega}$).

Полное сечение σ – интеграл от дифференциального, взятого по полному телесному углу $\Omega=4\pi$ стер. Полное сечение точечных частиц на абсолютно упругом шарике радиуса R равно площади сечения шарика $\sigma = \pi R^2$.

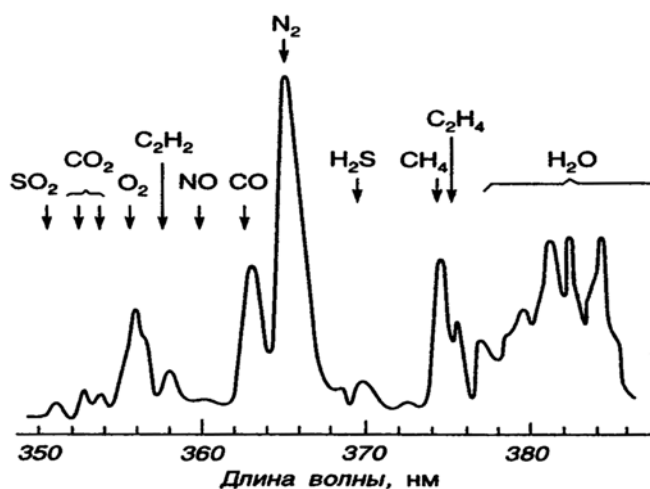


Рис. 6. Комбинационный спектр продуктов сгорания нефти

Метод резонансной флюоресценции

Основан на способности молекул флюоресцировать под воздействием излучения. Например, молекулы CO флюоресцируют при облучении излучением с $\lambda=4,6$ мкм, а молекулы NO_2 – при облучении аргоновым лазером с $\lambda=488$ нм.

Сечение флюоресценции значительно выше сечения комбинационного рассеяния, поэтому данный метод более чувствителен.

Метод регистрации проходящего излучения

Метод основан на регистрации проходящего через среду излучения «на просвет», когда опорный лазерный генератор и приемник находятся по разные стороны от исследуемого объекта.

С применением отражателей генератор и приемник находятся рядом.

Метод имеет самую высокую чувствительность из всех, но может применяться только для измерения интегральной концентрации только вдоль траектории луча.

Дифференциальный метод

Сочетает в себе метод поглощения и обратного рассеяния.

Контроль загрязнения гидросферы.

Гидрология – наука, изучающая гидросферу Земли, ее свойства, протекающие в ней процессы.

Гидрометрия – раздел гидрологии, разрабатывающий методы и приборы определения и контроля характеристик природных вод.

Гидрометеорология – изучает процессы, относящиеся к атмосферному и гидросферному режимам планеты.

Гидрометеорологическая станция – осуществляет систему наблюдений за состоянием и качеством водной среды на соответствующих постах наблюдения:

- уровень воды, глубина водоема;
- скорость водотока;
- температура воды;
- цвет воды и его изменения;
- степень минерализации;
- наличие и состояние биомассы.

В настоящее время на земном шаре действуют около 9 тысяч станций на суше, производящих наблюдения за влажностью воздуха, облачностью, количеством выпадающих атмосферных осадков. Из них 350 автоматизированы или частично автоматизированы. Около 700 морских судов производят наблюдения за различными параметрами состояния вод Мирового океана (температура, соленость и минеральный состав вод, направление течений). Эти данные пополняются наблюдениями с коммерческих самолетов (около 10 тысяч сводок в сутки). Передают информацию 300 заякоренных буев или фиксированных платформ, работающих как автоматические морские станции, и около 600 буев, дрейфующих с океанскими течениями.

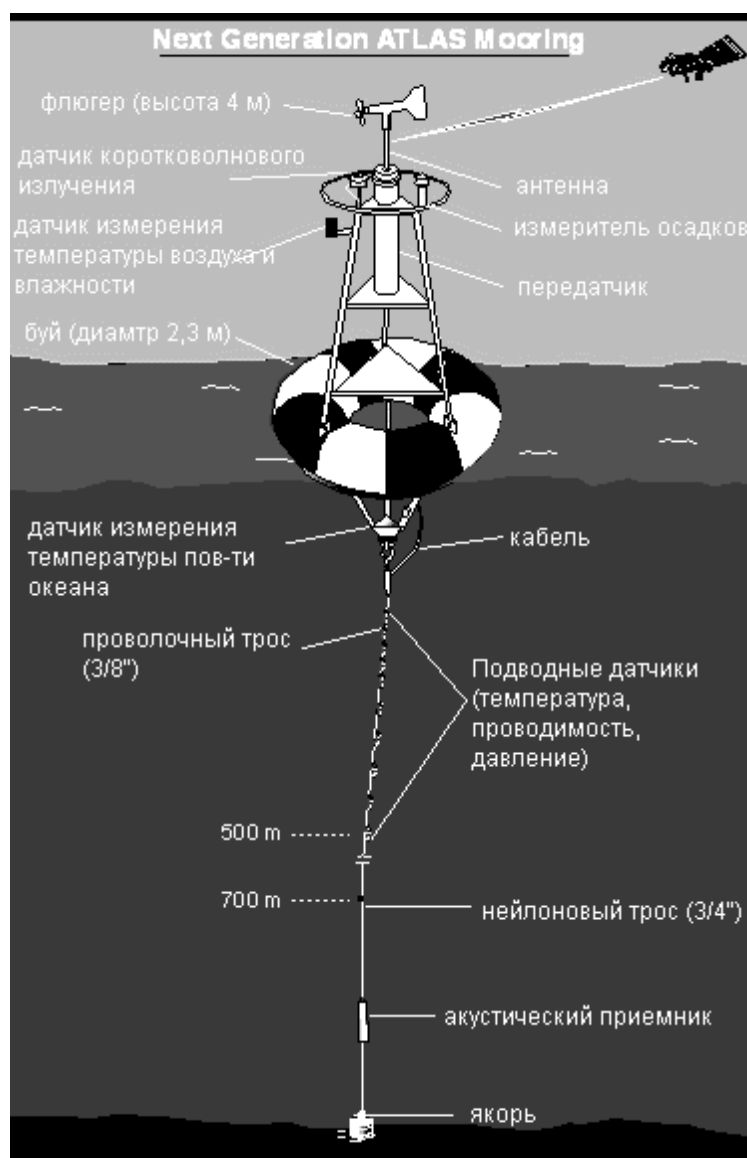


Рис 1. Современный морской буй

Мониторинг загрязнения вод суши

Стационарные посты наблюдений – в настоящее время действуют около 60 тысяч водомерных постов и станций.

Специализированные посты на 1) загрязненных водных объектах; 2) в районах минимального загрязнения (фоновый мониторинг) для решения научно исследовательских задач

Временные экспедиционные посты

Наблюдательные посты должны удовлетворять требованиям репрезентативности и располагать данными о расходах рек, уровнях воды в водоемах и другими гидрологическими материалами.

Посты наблюдений и контроля на реках, озерах и водохранилищах обычно приурочены к зонам сброса сточных вод. Основными объектами при выборе постов являются места сброса сточных и ливневых вод городов и крупных населенных пунктов, места сброса сточных вод отдельными крупными предприятиями и подогретых вод от крупных ТЭС и АЭС, места сброса коллекторно-дренажных вод с мелиоративных земель, крупные нерестилища рыб, приплотинные и устьевые участки рек, замыкающие створы больших и средних речных бассейнов.

В каждом пункте должно быть выделено не менее двух-трех створов: один выше источника загрязнения (для характеристики фоновое состояние объекта относительно данного пункта) и один-два ниже источника загрязнения.

Показатели качества воды, определяемые в обязательном порядке:

- температура воды;
- взвешенные вещества;
- pH ;
- растворенный кислород;
- биохимическое потребление кислорода за пентаду (БПК₅);
- запахи;
- главные ионы;
- биогенные компоненты;
- химические загрязнители: нефтепродукты, фенолы, пестициды, соединения тяжелых металлов;
- радионуклиды.

Оценка степени загрязнения поверхностных и подземных вод осуществляется по различным химическим, физическим, биологическим показателям. Показатель PXZ_{10} (показатель химического загрязнения, определяемый по 10 максимально превышающим ПДК веществам, особенно в тех случаях, когда химическое загрязнение наблюдается сразу по нескольким компонентам, каждый из которых многократно превышает ПДК

$$PXZ_{10} = \sum_{i=1}^{10} \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация i -го химического вещества в воде, $ПДК_i$ – установлено для рыбного хозяйства.

Некоторые критерии оценки степени загрязнения поверхностных и подземных вод для зон экологических кризисов (ЭК) и экологических бедствий (ЭБ) представлены в табл. 1, 2 (Емельянов, 1994).

Таблица 1

Критерии оценки степени химического загрязнения поверхностных вод

Показатели	Относительно удовл. ситуация	Зона ЭК	Зона ЭБ
Химические вещества, ПДК			
I-II класс опасности	1	5-10	>10
III-IV класс опасности	1	50-100	>100
PXZ_{10}			
I-II класс опасности	1	35-80	>80
III-IV класс опасности	10	до 500	>500
Химическое потребление кислорода – ХПК – относительно фона, мг/л	<10	10-20	20-30
Растворенный кислород, % насыщения	>80	20-50	10-20
Биохимическое потребление кислорода, БПК ₅	1	10-100	>100
Нитриты, ПДК	<1	5-10	>10
Нитраты, ПДК	<1	10-20	>20
Минерализация, г/л	<1	2-3	>3

Критерии оценки степени загрязнения подземных вод для участков хозяйственных объектов

Показатели	Относительно удовл. ситуация	Зона ЭК	Зона ЭБ
Содержание загрязняющих веществ (нитраты, фенолы, тяжелые металлы, СПАВ, нефть), ПДК	3-5	10-100	>100
Хлороорганические соединения, ПДК	<1	1-3	>3
Канцерогены, бенз(а)пирен, ПДК	<1	1-3	>3
Площадь области загрязнения, км ²	<0,5	3-5	>8
Минерализация, г/л	<3	10-100	>100

Гидробиологические индикаторы

Поскольку отсутствует единый гидробиологический показатель, качество воды определяется набором характеристик, отражающих состояние зообентоса. Перифитона (организмов, поселяющихся на подводных частях судов и др.), зоопланктона, фитопланктона, высших водных растений.

Мониторинг загрязнения вод океанов и морей

Мониторинг морей и океанов – слежение за уровнем загрязнения вод, динамикой его распространения, за состоянием биоценозов с целью определения состояния морских экосистем, оценки и прогноза их изменения под влиянием естественных и антропогенных факторов. В связи с этим основным принципом получения информации является комплексность наблюдений, то есть сопряженное определение гидрохимических, гидрофизических и гидробиологических характеристик экосистем на участках акватории как с загрязненными, так и относительно чистыми водами (*Израэль, 1984*).

Морские станции I категории – оперативное выявление уровней загрязнения в наиболее загрязненных зонах акватории. Располагаются на замыкающих створах устьевых областей в зонах влияния сброса сточных вод, в местах действующих морских нефтепромыслов, в районах, имеющих важное рыбохозяйственное или культурно-оздоровительное значение. Наблюдения по полной программе проводятся один раз в месяц и включают определение: 1) загрязняющих веществ (нефтепродуктов, пестицидов, тяжелых металлов, фенолов, а также загрязнителей, специфичных для данного района); 2) показателей среды (растворенного кислорода, сероводорода, БПК₅, нитратного и нитритного азота, общего фосфора и т.д.); 3) элементов гидрометеорологического режима (солёности воды, температуры воды и воздуха, направления и скорости ветра и течений, прозрачности и цветности воды); 4) важнейших характеристик фито- и зоопланктона, зообентоса и перифитона (общей численности организмов, числа видов, общей биомассы и т.д.).

Морские станции II категории – располагаются в прибрежных районах и в районах открытого моря, куда загрязняющие вещества поступают за счет миграционных процессов. Предназначены для изучения сезонной и годовой изменчивости уровня загрязнения морских вод. Наблюдения проводятся ежемесячно по той же программе, что и на станциях I категории.

Морские станции III категории – организуются в относительно чистых водах для выявления фоновых уровней загрязнения и их сезонной и годовой изменчивости. Наблюдения проводятся один раз в сезон по полной программе.

В конце 80-х годов XX века сеть мониторинга охватывала все внутренние и омывающие моря бывшего СССР. Включала 60-70 станций I категории, 570-600 станций II категории и 1000-1100 станций III категории.

Контроль уровня воды на водомерных станциях

Дистанционные водомерные посты оборудуются **самописцами уровня**, дающими возможность получать информацию об уровне воды непрерывно, а также передавать ее по радио- или электросвязи.

Профилограф

- *механический* – измеряет глубину с помощью промерного груза на тросе или промерной штанги. Перемещается по дну с передачей результатов на записывающий механизм с часовым заводом;

- *гидростатический* – производит измерения глубины с помощью датчика давления, перемещаемого на тросе по дну. Рассчитан на глубины до 15 м.

- *акустический* – основан на применении эхолота – рис. 2 (Денисов, 2004).

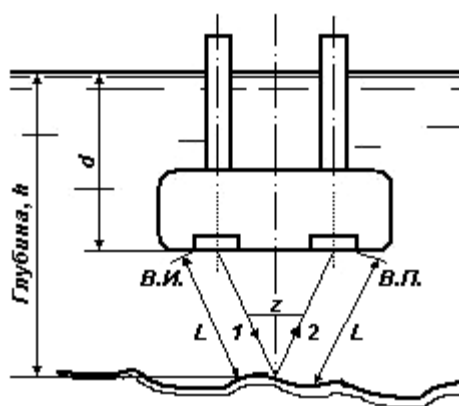


Рис. 2. Измерение глубин профилографом: В.И. – вибратор-излучатель, В.П. – вибратор-приемник, 1 – прямой сигнал, 2 – отраженный сигнал, d – глубина профилографа

Поплавковый метод – измерение скорости течения рек с применением поверхностных, глубинных и интеграционных поплавков, а также гидрометрических вертушек (рис. 3).

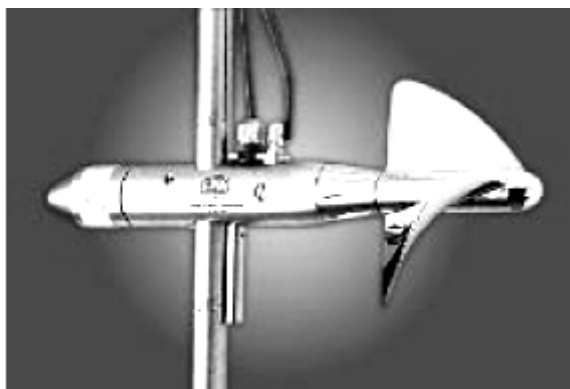


Рис. 3. Гидрометрическая вертушка

Комплексная работа по определению расхода воды заключается в пересечении судном реки по заранее выбранному направлению, в оценке скорости течения воды и скорости судна, учете угла измерения скорости течения по отношению к поперечному сечению и измерению глубины рек. Здесь кроме вертушки применяется гидроакустическое оборудование (рис. 4).

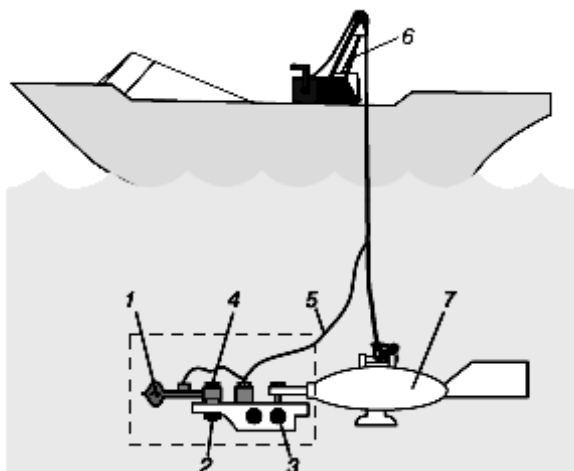


Рис. 4. Измерение расхода воды: 1 – гидрометрическая вертушка, 2 – гидроакустическая антенна измерителя глубины потока, 3 – гидроакустические антенны измерения скорости движения судна, 4 – гидроакустическая антенна измерителя скорости звука в воде, 5 – кабель, 6 – лебедка, 7 – груз (Семенов, 1997)

Аэрофотосъемка

Космическая съемка – получение изображений районов Мирового океана, материковых водоемов в различных участках спектра (спектрозональная съемка), обработка которых позволяет получить данные о:

Зондирование в видимом диапазоне позволяет получить данные, необходимые для:

- определения взвешенных частиц;
- состава и продуктивности фито - и зоопланктона;
- состояния прибрежной зоны;
- степени водной эрозии берегов и их динамики;
- направлении и структуре течений.

Зондирование в инфракрасном и микроволновом диапазоне применяется для:

- измерения температуры вод;
- выявления солености воды;
- определения качества воды в водоемах и водостоках;
- изучения термодинамики морских льдов.

Спектральные измерения используются для:

- определения площади покрытия, толщины слоя, примерного химического состава районов океана, загрязненных нефтепродуктами (5 – 10 млн. т в год), пространственно-временной динамики этих параметров;

- данных загрязнения воды бытовыми и хозяйственными стоками, радиоактивными веществами и т.д.;

- количественного анализа взвесей в воде;
- определения количества хлорофилла в фитопланктоне

Измерение температуры водной поверхности производится с орбиты 1) активными радиолокационными методами с точностью, не хуже $\pm 0,5^\circ \text{C}$, радиояркостным методом (измерение теплового потока, излучаемого подстилающей поверхностью, в диапазоне от видимого спектра до радиоволн; далее температура рассчитывается с применением закона Стефана-Больцмана $\varepsilon = \sigma T^4$).

Флуоресцентный метод

Люминесценция – излучение света телами, избыточное над тепловым при той же температуре и имеющее длительность, значительно превышающую периоды излучений в оптическом диапазоне. Не имеет равновесного характера. Фотолюминесценция – под действием видимого и УФ-излучения. Катодолюминесценция – под действием потока электронов. Электролюминесценция – под действием электрического поля. Хемилюми-

несценция – под действием химических реакций. Длина волны люминесценции, как правило, больше длины волны возбуждающего света (правило Стокса).

Флуоресценция – люминесценция, сразу прекращающаяся после окончания действия возбуждателя свечения.

Фосфоресценция – сохраняется длительное время после прекращения облучения.

1). Нефть после лазерного облучения начинает флуоресцировать. Это свечение принимается датчиком в виде спектров с длинами волн, различными для различных фракций нефти. Наиболее удобным является инфракрасный датчик в диапазоне 8 – 14 мкм.

2). Содержание хлорофилла определяется спектрометрическими методами по отраженному видимому или лазерному излучению, а также по флуоресценции. *Вода собственной флуоресценцией не обладает.*

3) По изменениям форм спектра фотолюминесценции при соответствующих изменениях длины возбуждающей волны можно качественно судить о составе флуоресцирующего фитопланктона. Свечение в УФ-диапазоне позволяет определять соотношение физиологически наиболее активных, ослабленных и неактивных (мертвых) хлорофилло-содержащих клеток.

К группе гидрометеорологических приборов **для основной (речной и озерной) гидрологической сети (стационарных постов и станций)** относятся приборы для измерения уровня воды (водомерные рейки и самописцы уровня воды), скорости и направления течения, расхода воды (поверхностные и глубинные поплавки, гидрометрические вертушки, гидрометрические установки с дистанционным управлением, включающие в себя лебедку, несущие тросы, груз, пульт управления), температуры воды (родниковый и опрокидывающиеся термометры), толщины шуги и ледяного покрова (шугомерные рейки, ледовые буры), приборы для измерения глубин и различные приспособления для взятия проб воды на химический анализ или с целью определения концентрации и состава наносов (батометры).

К группе приборов для сети специализированных станций и постов (воднобалансовых, болотных, русловых и т.д.) относятся приборы для измерения испарения (водные и почвенные испарители), влажности почвы (влагомеры) и других элементов водного баланса зоны аэрации (лизиметры с постоянным и переменным уровнем грунтовых вод и др.), а также приборы для русловых исследований (профилографы, гидродинамометры и др.).

Кроме этого существует ряд приборов для проведения ускоренных измерений (чаще всего **в экспедиционных условиях**) и устанавливаемых на автомашинах, судах, снегоходах и др.

По способу взаимодействия с объектом наблюдения приборы подразделяются на контактные и неконтактные. **Контактные:** ультразвуковая система для измерения расхода воды, комплекс аппаратуры для измерения расхода воды с движущегося судна, аппаратура для измерения расхода воды по степени разбавления в потоке введенного индикатора (метод смешения). **Неконтактные:** аппаратура для аэрокосмических исследований земной поверхности (радиационные термометры, гамма-съемочная аппаратура для определения запасов воды в снежном покрове), а также аппаратура для радиолокационного измерения поверхностной скорости течения и толщины льда.

Океанологические приборы – технические средства для гидрофизических, гидрохимических, морских геологических, гидробиологических и др. измерений характеристик морской среды; приспособления для сбора образцов (проб) морской воды, грунтов, растений и животных.

По назначению разделяют на:

- приборы для определения глубины (лоты и эхолоты);
- для определения физических характеристик морской воды (термометры и измерители скорости распространения звука в воде, разнообразная гидрооптическая аппаратура;

- для измерения основных параметров динамики вод (скорости и направления течений) – буквопечатающая вертушка (БПВ), автоматический цифровой измеритель течений и температуры (АЦИТ), *океанологический трассер* – красящее вещество, вводимое в водоем для определения движения вод или наносов. Применяются тритий 3H , углерод ^{14}C и другие радиоактивные изотопы, а также нерадиоактивные красящие вещества (например, флуоресцин).

- для определения элементов волн (волномеры и волнографы);
- колебаний уровня (футштоки, мареографы);
- для гидрохимических измерений (электросолемеры, оксиметры, pH-метры, фотоэлектрические колориметры и др.);
- для ледовых наблюдений (ледомерные рейки, аппараты для аэрофотосъемки льдов и др.).

В зависимости от способа представления информации океанологические приборы разделяются на приборы с визуальным отсчетом, самопишущие приборы, приборы с цифровой регистрацией, с передачей телеметрической информации.

По способам использования океанологические приборы подразделяются на:

- *стационарные* – устанавливаются постоянно (футштоки, мареографы, термографы) или устанавливаемые на длительный срок (теллурические станции, сейсмографы) на берегу или в открытом море на основаниях буровых установок, эстакадах и т.п.;
- *автономные* – предназначенные для самостоятельной работы от нескольких часов до нескольких месяцев в открытых частях океанов и морей на заякоренных буйках (буйковые станции);
- *судовые*;
- *буксируемые*;
- *комплексные*.

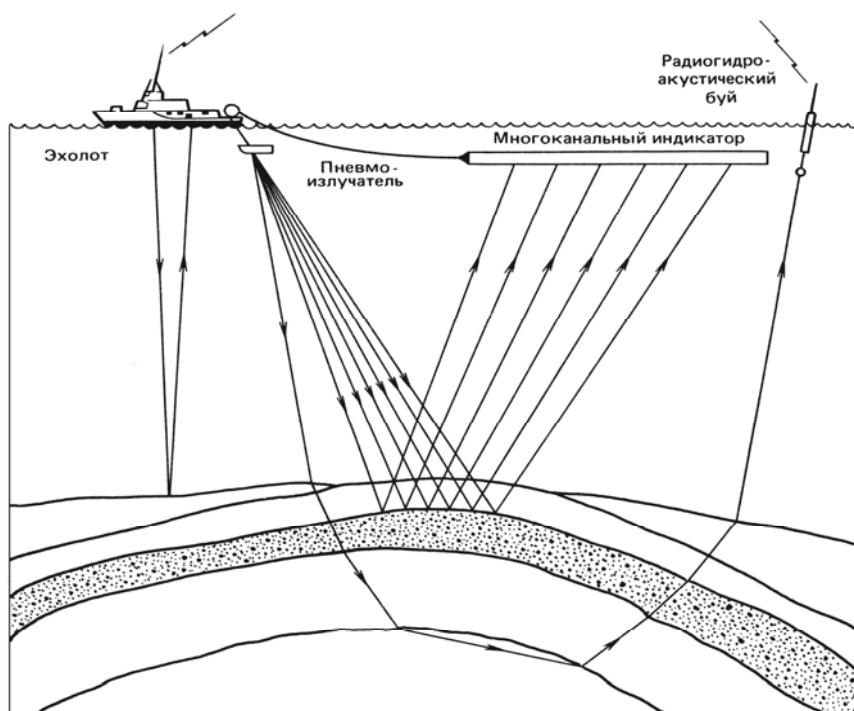


Рис. 5. Рельеф морского дна определяют посредством эхолотного зондирования. Для определения конфигурации слоев отложений под поверхностью морского дна используют более мощные акустические источники и многоканальные приемники (Дрейк, 1982)

Гидролокатор (сонар) - аппаратный комплекс для определения с помощью акустических сигналов положения подводных и плавучих объектов (первоначально этот термин использовался применительно к эхолокационным приборам для обнаружения подводных лодок, теперь употребляется в более широком значении). Главными элементами гидролокатора являются подводный излучатель мощного акустического сигнала и чувствительный приемник, реагирующий даже на слабые отражения этого сигнала от погруженных в воду объектов. Конструируются оба эти элемента с таким расчетом, чтобы их компоновка в локаторе обеспечивала определение направления на отражающий объект и расстояния до него. На подводных лодках и надводных судах гидролокаторы служат основными – а зачастую и единственными – средствами сбора информации об условиях и обстоятельствах под морской поверхностью. На атомных подводных лодках специальные гидролокаторы применяются в качестве навигационных приборов. Крупные корабли оснащаются эхолотами – гидролокаторами, измеряющими глубину океана. На многих рыбопромысловых судах гидролокаторы используют для обнаружения рыбных косяков; биологи, занимающиеся морскими животными, с помощью гидролокаторов изучают звуки, издаваемые представителями морской фауны.

Под водой акустический пучок, подобно лучу прожектора или радара в воздухе, наводится на цель, и отраженная от нее звуковая энергия поступает в приемник. Из сонара, как из радара, излучение испускается короткими импульсами. Расстояние до цели определяется как произведение скорости звука в воде на половину временного интервала между испусканием импульса и прибытием его эха. Поскольку приемная антенна сонара имеет острую диаграмму направленности, пеленг цели определяется поворотом микрофона при его настройке на эхо. На практике оператор следит за световыми метками на панорамном экране, которые соответствуют обнаруженным объектам, и это значительно облегчает их локацию. Дальность действия гидролокатора ограничена радиусом в несколько километров. Скорость звука в воде равна приблизительно 1,5 км/с, поэтому гидролокационный поиск гораздо медлительней радиолокационного или светового поиска в атмосфере. Из-за относительно большой длины волны звука у гидролокатора довольно слабое пространственное разрешение: там, где глаз различал бы каждую заклепку на корпусе корабля, сонар «увидит» только все судно как единое пятно. К тому же морская вода – далеко не идеальная среда для распространения звука.

Идея гидролокатора не нова. Еще во время Первой мировой войны гидрофоны применялись на надводных кораблях и подводных лодках для обнаружения вражеских судов методами пассивной шумопеленгации. Позже были созданы пьезоэлектрические преобразователи и электронные усилители сигналов звукового диапазона, что привело к развитию систем активной гидролокации. С тех пор разработано много видов совершенных приборов, среди них гидролокатор кругового обзора, гидролокатор переменной глубины и др.

Гидролокаторы делятся на два основных типа: активные (излучающие сигнал и принимающие его отражение) и пассивные (принимающие шумы, издаваемые целью).

Устройство гидролокатора

Преобразователь представляет собой устройство, в котором электрическая энергия преобразуется в механическую и наоборот. Такими преобразователями являются, например, микрофоны и громкоговорители. В гидролокаторе преобразователь выполняет обе функции. Обычно он размещается на днище надводного корабля и в верхней части корпуса подводной лодки. Иногда преобразователями служат пьезоэлектрические кристаллы (они меняют свои размеры при подаче на них электрического напряжения либо меняют форму при воздействии внешних сил, и на их поверхности возникает разность электрических потенциалов), но в данной схеме используется магнитострикционный (одновременно магнитоупругий) элемент – никелевый стержень с намотанной на него проволочной катушкой индуктивности. При нарастании электрического тока в катушке возникает магнитное по-

ле, сжимающее стержень, при убывании тока – поле, растягивающее его. На конце стержня закреплена диафрагма, соприкасающаяся с водой, поэтому при сокращениях и удлинении стержня в воде возбуждаются упругие колебания – звуковые волны. По прибытии эха все происходит в обратном порядке, и движения диафрагмы возбуждают ток в катушке. Набор таких преобразователей располагается по кругу в горизонтальной плоскости; каждый из них ориентирован в своем направлении. Передатчик воздействует на все преобразователи одновременно, и звуковые волны уходят сразу во всех направлениях. Но каждый преобразователь соединен с приемником отдельно, поэтому направление на цель определяется по тому элементу, который «слышит» эхо.

Передатчик. Оператор сидит за пультом управления, контролируя работу передатчика – мощного генератора ультразвуковых импульсов (средняя мощность типичного передатчика – ок. 8 кВт, пиковая в импульсе достигает 160 кВт). Несущая частота передатчика фиксирована ок. 20 кГц, а длительность импульса может меняться оператором от 0,005 до 0,1 с. Частота повторения импульсов тоже может варьироваться от 1 до 60 имп/мин – в зависимости от максимальной величины радиуса зоны обзора (все эхо-сигналы должны быть приняты до момента посылы следующего импульса). Выбор частоты передатчика зависит от нескольких величин, влияние которых противоположно: с увеличением частоты возрастают потери на трассе, но интенсивность принимаемых собственных шумов воды и габариты преобразователя становятся меньше. Из этих соображений наиболее выгодным диапазоном эхолокации является полоса частот от 18 до 24 кГц. Акустические устройства шумопеленгации наиболее эффективно работают на частотах ниже 1 кГц, на которых наиболее мощно излучаются шумы кораблей. Выходная мощность передатчика ограничивается сверху тем ее значением, при котором в воде возникает кавитация. Кавитационные пузырьки незамедлительно отражают в преобразователь существенную долю излучаемой мощности. С увеличением давления (т.е. глубины) возрастает и допустимый предел излучаемой акустической мощности.

Реле приема-передачи. Так как один и тот же преобразователь выступает в роли излучателя и чувствительного элемента, его следует автоматически подключать то к передатчику, то к приемнику.

Приемник. Принимаемые различными чувствительными элементами сигналы отдельно поступают в приемно-усилительный тракт, а оттуда – на коммутатор. В приемном тракте есть специальные схемы подавления паразитных сигналов.

Коммутатор. Здесь принятый сигнал направляется по двум отдельным каналам – слухового контроля и видеоиндикации. Сегменты статора (неподвижной части коммутатора) расположены по кругу; на каждый из них поступает сигнал от определенного преобразователя. Положением первого ротора (с выходом на аудиоканал) управляет оператор, выбирая интересующее его направление прослушивания; гетеродинный конвертер канала слухового контроля переводит принятый сигнал на звуковую частоту 800 Гц и посылает его в головные телефоны оператора. Второй ротор коммутатора, связанный с видеоканалом, вращается с постоянной скоростью 1750 об/мин синхронно с разверткой индикатора кругового обзора, подобно тому как это делается в радаре, и позволяет визуализировать каждый эхо-сигнал с его пеленгом. За время между посылками двух последовательных импульсов зондирования развертка совершается дважды, так что все принятые отражения выводятся на экран индикатора.

Регистрирующий индикатор кругового обзора. Представляет собой электронно-лучевую трубку с круговой разметкой экрана, на котором отмечаются все обнаруженные объекты вблизи производящего гидролокацию корабля (ему соответствует круговое пятно в центре экрана). Поскольку отражения от более удаленных целей принимаются позже, развертка ведется по разворачивающейся спирали со скоростью 1 оборот в 1/1750 мин, и на том месте экрана, которое соответствует положению цели, возникает яркое световое пятно. Вращающаяся визирная линия и круговая шкала в 360° позволяют оператору определять истинный пеленг каждой цели. Кроме того, на экране имеется индекс дальности – маленькое

световое пятно, которое оператор может вводить на экран для совмещения с изображением цели. Этот индекс связан с автоматическим счетчиком, вычисляющим расстояние до объекта. Выделяя на коммутаторе интересующее его направление, оператор по каналу слухового контроля оценивает характер конкретного эха и его происхождение – от косяка ли рыбы или подводной лодки, либо в результате подводной реверберации. Заодно можно оценить и направление движения цели, так как частота звука от приближающегося объекта выше, а от удаляющегося – ниже.

Блок обработки данных, куда поступает вся первичная информация о цели, вносит поправки с учетом условий распространения звука и движения самого судна с гидролокатором и выдает результаты расчетов дальности, пеленга, курса и скорости цели (необходимые, например, при наведении орудий боевого корабля).

Гидролокационные устройства. *Гидрофоны* представляют собой подводные аналоги микрофонов и используются при прослушивании шумов, исходящих от цели. На подводных лодках они служат средствами поиска и обнаружения противника чаще, чем гидролокаторы активного типа, так как при излучении локационного сигнала подводная лодка может обнаружить себя. Гидрофоны размещают по дну на входе в гавань; от них по кабелям сигналы поступают на наземные станции обработки, благодаря чему осуществляется постоянный контроль движения надводных и подводных судов в районе порта. Гидрофоны имеют ограниченные возможности, т.к. с их помощью нельзя непосредственно определить удаленность объекта; можно лишь установить направление на него.

Гидролокатор с острой диаграммой направленности, излучая сигналы и принимая их отражения, обнаруживает цели и измеряет их дальности и пеленги. Поиск ведется последовательными шагами: оператор наводит преобразователь на заданное направление, посылает импульс и ждет его отражение; потом переходит на другой пеленг и повторяет все снова – и так до тех пор, пока не проверит всю зону обзора.

Гидролокатор кругового обзора дает результаты гораздо быстрее.

Аппаратура для определения глубины погружения цели работает совместно с активным гидролокатором, поскольку не имеет своего передатчика и лишь воспринимает отражения сигналов, испущенных активным прибором. Набор остронаправленных преобразовательных элементов этой аппаратуры имеет вид вертикальной линейки, сканируя которую получают в угловой мере данные о погружении цели; эта информация в совокупности с результатами измерений традиционных угломерных приборов позволяет определить глубину и дальность цели.

Опускаемый с вертолета гидролокатор представляет собой преобразователь сферической формы, который спускается на длинном кабеле и погружается в воду при зависании вертолета; верхний конец кабеля соединен с бортовой аппаратурой. Такой гидролокатор служит для экстренного ненаправленного прослушивания эхо-сигналов в заданном районе.

Береговая станция акустической пеленгации и обработки эхо-сигналов получает информацию от системы погруженных в различных местах гидрофонов, определяет пеленги удаленных объектов и расстояния до них.

Гидролокатор переменной глубины, подобно вертолетному прибору, погружается на кабеле (но с борта надводного корабля и для решения иных задач) глубже сильно искажающего процесс распространения звуковых волн термоклина (слоя воды в океане с большим градиентом температуры), чем исключаются рефракционные потери при определении дальности объекта.

Гидроакустические радиобуи – система плавучих устройств, каждое из которых несет на себе гидрофон и радиопередатчик индивидуальной частоты. Разбросанные с самолета в заданном районе, они посылают сигналы о присутствии, например, подводной лодки, сопоставление которых дает информацию о приблизительном ее местонахождении.

Эхолот является упрощенным вариантом гидролокатора с острой диаграммой направленности, ориентированной на морское дно. Временная картина отраженных от дна звуковых

сигналов автоматически регистрируется в цифровой или аналоговой форме (или в обеих одновременно) на карте.

Гидроакустический телефон – своеобразный подводный аналог радиотелефона. Промодулированные голосом импульсы на ультразвуковой несущей частоте распространяются в воде и принимаются судном, где они детектируются и подаются в телефонную трубку. Такая система используется для связи подводных лодок между собой и с надводными кораблями.

Береговая система дальнего обнаружения судов, терпящих бедствие (т.н. система СОФАР), функционирует благодаря сверхдальному распространению звука (до нескольких тысяч километров от источника) по подводному звуковому каналу (см. ниже). Если в звуковом канале взорвать заряд, то по звуковому импульсу можно определить положение его источника, измеряя разность времен прихода импульсов, принятых ненаправленными приемниками в трех далеко отстоящих друг от друга пунктах. Бомбами для подачи подобных сигналов бедствия снабжаются подводные лодки и надувные спасательные плоты.

Акустические системы самонаведения торпед являются по сути активными или пассивными гидролокационными устройствами для обнаружения и преследования цели; порой они оснащены и неконтактными гидроакустическими взрывателями.

Особенности распространения звука в морской воде

Поглощение. Энергия звуковой волны в морской воде постепенно убывает из-за ее поглощения, обусловленного в основном двумя процессами: внутренним трением среды и диссоциацией растворенных в ней солей. Трение преобразует звуковую энергию в тепловую, а эффективность этого преобразования зависит от вязкости воды; обычно потери на трение составляют ок. 10% всего поглощения. Диссоциация молекул морских солей происходит вследствие того, что энергия звуковой волны, преобразуясь в химическую энергию, выводит молекулы из равновесного состояния, и они распадаются на ионы. Этот вид поглощения резко возрастает с увеличением частоты звука: на трассе длиной 1 км при частоте 1 кГц акустическая мощность падает приблизительно на 2%, а при частоте 20 кГц – уже почти на 60%.

Расходимость. Звуковое излучение, удаляясь от источника, расходится в пространстве, как свет и радиоволны; в результате этого интенсивность звука ослабевает пропорционально квадрату расстояния от излучателя.

Рассеяние. Затухание звука в море происходит и из-за его рассеяния на различных неоднородностях среды – взвешенных частицах, микроорганизмах и тепловых аномалиях. Обычно такие потери невелики, и их включают в суммарное поглощение; однако рассеяние спутным следом корабля или большим рыбным косяком может дать до 90% всех потерь, и его необходимо учитывать особо. Более важным следствием рассеяния оказывается то, что звук попадает в т.н. зоны акустической тени, где он рассеивается в многократных отражениях от граничных поверхностей.

Отражение. Поверхность океана активно отражает звук, но ее волны и рябь вызывают разброс направлений и фаз отраженных звуков, и между падающим и отраженным звуковыми пучками возникает интерференция, так что интенсивность звука в фиксированной точке пространства изменяется со временем по сложному закону. Дно тоже отражает звуки, но его коэффициент отражения сильно зависит от структуры дна и глубины. Илистое дно – плохой отражатель, а песчаное или скалистое – очень хороший. На небольших глубинах над дном из твердых пород вследствие многократных отражений звука от него и от водной поверхности возникает подводный звуковой канал, в котором создаются благоприятные условия для гидролокации.

Рефракция. Искривление звуковых «лучей» вызывается тем, что в разных (по глубине) слоях воды скорость звука различна и звуковой пучок отклоняется в сторону слоя с наименьшей скоростью. Скорость звука в морской воде при температуре 13° С, давлении 1 атм и концентрации солей 35 г/л равна 1494 м/с; она увеличивается с ростом температуры (3 м/с на 1° С), давления (0,016 м/с на 1 м глубины) и концентрации солей (1,3 м/с на 1 г/л). По горизонтали эти факторы влияния меняются очень медленно, но по глубине довольно быстро, поэтому океан как бы состоит из горизонтальных слоев с различ-

ной скоростью звука. Обычно вариации солёности незначительны, и ими пренебрегают. Влияние давления хорошо известно и зависит лишь от глубины. Весьма существенно влияние температуры, а она переменчива, и для определения профиля скорости звука по глубине нужно измерять температуру воды на разных глубинах. Для этой цели с корабля спускают на кабеле специальный аппарат, именуемый батитермографом (он похож на небольшую торпеду), на котором имеются чувствительный термометр и самописец для автоматической регистрации зависимости температуры от глубины. Рефракцией звука в воде определяется формирование специфических условий его распространения, которые приводят к образованию четырех типов особых зон: звукового канала, изотермического слоя, поверхности с отрицательным градиентом и поверхности с положительным градиентом; в действительности могут создаваться и более сложные ситуации, когда условия, характерные для одной зоны, появляются и в другой.

Звуковой канал. В таком канале звуковые лучи, отклоняясь от его оси вверх или вниз, попадают в области большей скорости звука и вновь стремятся к оси канала. Когда они ее пересекают, процесс повторяется, и звуковой пучок оказывается в продольной ловушке, на оси которой скорость звука минимальна. Пучок распространяется по ней в горизонтальном направлении (рис. 3) на очень большое расстояние с малыми потерями. Из-за значительных суточных и сезонных колебаний температуры воды в поверхностных слоях океана (до глубины ок. 150 м) профили скорости звука в них очень меняются, но ниже все обстоит иначе – температура там низкая и почти постоянная. Скорость звука минимальна на глубине приблизительно 600 м. Ниже до самого дна температура почти не уменьшается, но скорость звука возрастает из-за повышающегося давления, – так образуется глубинный звуковой канал.

Изотермический слой. Температура приповерхностного слоя постоянна, и скорость звука в нем немного растет с глубиной из-за повышения давления. На нижней границе слоя температура резко падает (там он встречается с термоклинном, ниже которого температура уменьшается очень медленно). Волны и конвективные потоки интенсивно перемешивают поверхностную толщу океана, выравнивая ее температуру, но глубина этого выравнивания колеблется от нуля (ранней весной) до 120 м (поздней осенью), что ограничивается термоклинном (рис. 4). Под воздействием условий поверхностной толщи воды звуковой пучок раздваивается: верхняя часть из-за рефракции возвращается в слой смешения и, отразившись от границы с воздухом, начинает распространяться на большие расстояния; нижняя часть круто отклоняется к термоклину, образуя обширную зону молчания ниже изотермического слоя.

Поверхность с отрицательным градиентом. Когда нет условий для формирования изотермического слоя, температура воды падает с увеличением глубины, начиная с поверхности. Так обычно бывает во второй половине безветренного солнечного дня, когда поверхностный слой сильно прогревается, а перемешивания не происходит. В таких случаях весь звуковой пучок резко отклоняется вниз, и зона молчания начинается прямо с поверхности, причем она гораздо глуше, чем та, что образуется под изотермическим слоем, ибо здесь нет рассеяния из верхнего пучка.

Поверхность с положительным градиентом. Бывают ситуации, когда температура воды и скорость звука возрастают от поверхности вниз до некоторой глубины. Такие ситуации недолговременны и случаются после обильного холодного дождя или вблизи устьев рек. Тогда звуковой пучок в воде отклоняется к границе с воздухом, от которой и отражается, затем вновь рефрагирует и т.д., так что формируется звуковой канал большой протяженности.

Интенсивность эха. Интенсивность эхо-сигнала гидролокатора определяется расстоянием до цели, потерями на поглощение и рефракцию в среде, а также материалом цели и той ее площадью, на которую воздействует акустический импульс, причем характеристики цели учитываются квадратично, так как она является вторичным излучателем.

Шум. Шумы при гидролокации производят такой же эффект, как помехи при радиоприеме, поэтому любой нежелательный сигнал называют шумом. Дальность обнаружения цели гидролокатора зависит и от способности его оператора выделить слабый эхо-сигнал из

шумового фона. Собственные шумы гидроакустической аппаратуры пренебрежимо малы, так что фон определяется шумами в водной среде, которые весьма ограничивают способность гидролокатора к обнаружению объектов. Реверберация, которая звучит на гидролокационных частотах как раскаты грома, возникает на неровностях поверхности воды и дна, а также на объемных неоднородностях в толще воды. Поверхностная реверберация порой заглушает полезные эхо-сигналы, поступающие с расстояния менее километра, особенно когда море неспокойно. Объемная реверберация в обычных условиях еле слышна. Донная реверберация зависит от расстояния до дна, поэтому в глубоких водах она может и не мешать, так как доходит до акустического приемника значительно позже полезного эха; ее интенсивность определяется породами и рельефом дна. Корабль, на борту которого находится гидролокатор, тоже шумит – своими винтами и самим своим движением в воде; чем выше скорость корабля, тем сильнее его шумы. Поэтому скорость надводных судов гидролокационной разведки до недавнего времени ограничивалась 20 узлами (1 узел = 1 морская миля в час = 1,852 км/ч). Посторонние шумы генерируются на различных частотах; в общий шумовой фон включаются многие отдаленные источники: волны, корабли и даже креветки. В итоге дальность действия гидролокатора в нормальных условиях не превышает нескольких километров. Зондирующий акустический пучок быстро слабеет; из-за поглощения, расходимости и рассеяния уменьшается его интенсивность, а его направленность ухудшается из-за отражения, рефракции и рассеяния.

Методы противодействия гидролокатору. Для того чтобы подводная лодка не могла быть обнаружена гидролокатором, ее конструируют и строят так, чтобы бортовые машины и механизмы издавали минимум шумов; корпус делается обтекаемой формы для уменьшения шумов, возникающих из-за его трения о воду; судно может двигаться на очень малых скоростях, при которых на его гребных винтах не возникает кавитация (на таких скоростях лодку обычно не слышит пассивный гидролокатор). Если корабль-разведчик не скрывает своего присутствия и включает активный гидролокатор, то подводной лодке спрятаться от него трудно, но иногда это удается. Проще всего лечь на дно в надежде на то, что эхо-сигнал от лодки затеряется среди множества донных отражений. Если лодка находится в глубоководном районе, то она может продолжать движение, погружившись ниже термоклина (если таковой имеется; как правило, на беду судна-разведчика он существует, а под ним – обширная зона молчания, где гидролокатор бессилен). Если все эти меры предосторожности оказались напрасны и лодка обнаружена, то у ее капитана есть еще возможности ввести в заблуждение преследователя. Он может приказать выдуть в воду воздушные пузыри, которые сами становятся целью для гидролокатора, либо в качестве ложной цели выпустить акустический отражатель; наконец, он может включить электрические и механические генераторы шумов, чтобы заполнить весь экран индикатора кругового обзора шумами и тем затруднить определение точного местонахождения лодки.

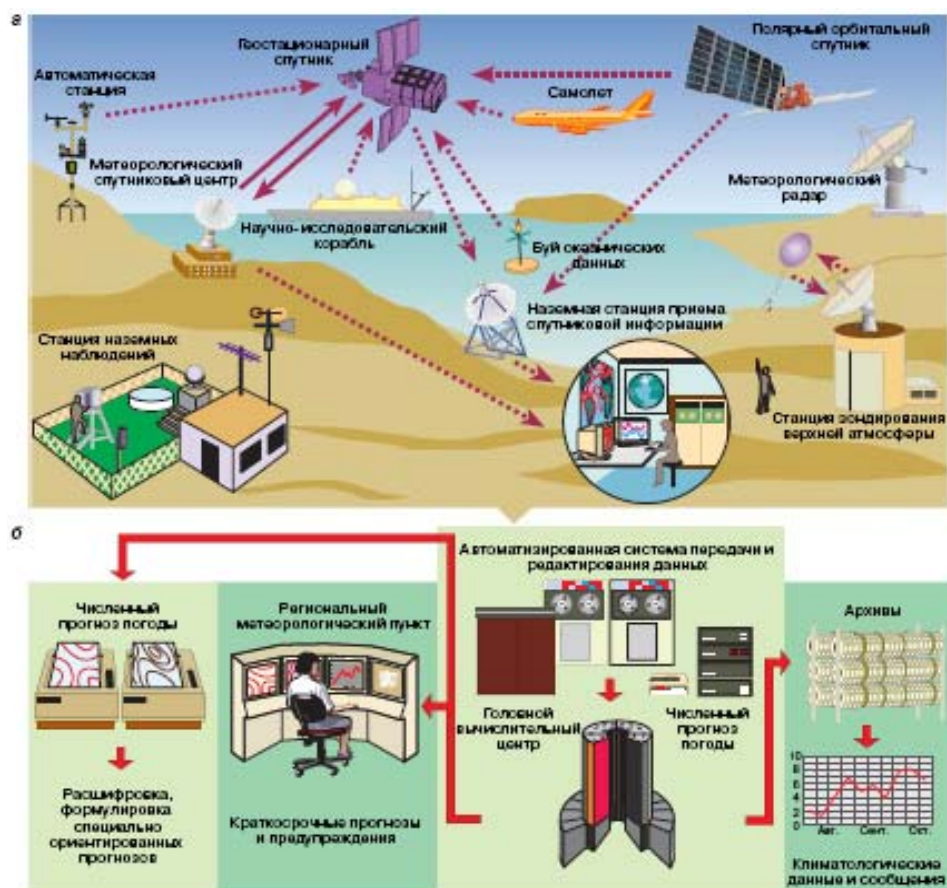


Рис. 6. Система наблюдений (а), сбора и обработки (б) данных наблюдений за состоянием гидросферы Земли (Семенов, 1997)

Контроль загрязнения суши

Проведение мониторинга почвы вызвано необходимостью своевременного выявления неблагоприятных свойств почв при различных видах их использования и развития естественных почвообразовательных процессов.

Важнейшие задачи почвенного мониторинга – а) Изучение факторов и процессов, определяющих антропогенную и естественную трансформацию почвенного покрова во времени и пространстве; б) определение и оценку свойств почв и их естественного плодородия; в) контроль загрязнения почв пестицидами, тяжелыми металлами и другими ингредиентами; г) выявление тенденций и прогнозирование изменения состава и свойств почв, а также структуры почвенного покрова.

Эти задачи решаются с помощью проведения стационарных и полустационарных наблюдений на специально выбранных участках с использованием дистанционных методов исследования. В качестве объектов наблюдения выбираются типичные ландшафты, расположенные во всех важнейших почвенно-климатических зонах и провинциях и подверженные интенсивному антропогенному воздействию. Параллельно исследуются фоновые территории.

Повсеместный мониторинг: а) наиболее токсичных тяжелых металлов – ртути, свинца, кадмия; б) наиболее токсичные органические загрязнители – бенз(а)пирен, полихлорбифенилы.

Общий мониторинг – токсиканты, поступающие в почву при локальных выбросах (цинк, никель, ванадий, марганец и др.); органические загрязнители, способные накапливаться в сельскохозяйственной продукции.

Мониторинг свойств, определяющих плодородие почв – содержание гумуса, азота, фосфора, кислотность почв, накопление легкорастворимых солей и т.д.

В соответствии с главными источниками загрязнения почв выделяют два объекта наблюдений (типа загрязненных территорий):

1) почвы сельскохозяйственных районов (отбор проб два раза в год – весной после таяния снегов до внесения пестицидов и в конце вегетационного периода). **Отбор проб снега** проводится ежегодно в конце зимы для определения интенсивности поступления в почву тяжелых металлов.

2) почвы вокруг промышленно-энергетических центров (отбор проб один раз в год – весной после таяния снега в точках на почвенно-географических профилях, расположенных по восьми азимутам в радиусе до нескольких десятков км от источника загрязнения).

Наиболее крупные по площади объекты (как правило, сельскохозяйственные угодья) должны регулярно обследоваться с помощью дистанционных методов. Данные аэрокосмического зондирования должны контролироваться путем наземного обследования эталонных участков, расположенных в пределах массивов наблюдений.

Предельно допустимая концентрация химического вещества в почве представляет собой комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве, так как используемые при ее обосновании критерии отражают возможные пути воздействия загрязняющего вещества на контактирующие среды, биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения.

Обоснование ПДК химических веществ в почве базируется на 4 основных показателях вредности, устанавливаемых экспериментально:

- **транслокационным**, характеризующим переход вещества из почвы в растение;
- **миграционным водном**, характеризующим способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники;
- **миграционным воздушном**, характеризующим переход вещества из почвы в атмосферный воздух;
- **общесанитарном**, характеризующим влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность.

При этом каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания вещества по каждому показателю вредности. Наименьший из обоснованных уровней содержания является лимитирующим и принимается за ПДК.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) или ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) химических веществ в почве являются основным критерием гигиенической оценки загрязнения почв химическими веществами.

При загрязнении почвы многими веществами оценка степени опасности загрязнения допускается по наиболее токсичному элементу с максимальным содержанием в почве.

Для использования при экологическом зонировании территории России оценка уровня химического загрязнения почв (в селитебных зонах) как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится по двум показателям: коэффициенту концентрации химического вещества (K_c) и суммарному показателю загрязнения (Z_c).

K_c определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фоновому ($C_{\phi i}$):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}} \quad (1)$$

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов (он же используется для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами):

$$z_c = \sum_{i=1}^n K_{C_i} - (n-1), \quad (2)$$

где n – число наблюдаемых загрязнителей, K_{C_i} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения

Таблица 1

Оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения (Емельянов, 1994)

Категория загрязнения почв	Суммарный показатель загрязнения z_c	Изменение показателей здоровья населения
Допустимая	<16	Низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных изменений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	>128	Увеличение заболеваемости детей, нарушения репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости и т.д.)

В качестве показателей физической деградации сельскохозяйственных земель используются площади угодий, выведенных из землепользования в результате проявления неблагоприятных почвенных процессов (эрозии, вторичного засоления, загрязнения и т.д.), величины потери гумуса в пахотном слое, показатели увеличения плотности почв и другие критерии.

Признаком биологической деградации служит снижение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, о котором можно судить по уменьшению уровня активной микробной массы.

Таблица 2

Критерии экологической оценки состояния почв

Показатели	Норма	ЭР	ЭК	ЭБ
Площадь деградированных земель, % от общей площади сельхозугодий	<5	5-30	30-50	>50
Содержание гумуса в почвах, % от исходного	>90	70-90	30-70	<30
Содержание химических загрязнителей в почве, ПДК	<1	1-3	3-10	>10
Содержание пестицидов в почве, ПДК	<0,5	0,5-1	1-3	>5
Содержание легкорастворимых солей, вес. %	<0,6	0,6-1	1-3	>3
Содержание токсичных солей, вес. %	<0,3	0,3-0,4	0,4-0,6	>0,6
Увеличение плотности почв, кратность по сравнению с фоном	<1,1	1,1-1,3	1,3-1,4	>1,4
Фитотоксичность почвы (снижение числа проростков), кратность по сравнению с фоном	<1,1	1,1-1,4	1,4-2,0	>2,0

ЭР – зона экологического риска, ЭК – зона экологического кризиса, ЭБ – зона экологического бедствия

Методы дистанционного зондирования с применением ИСЗ, лазерной и радарной техники в последнее время получают наибольшее распространение.

Лазерная и радарная аэросъемка является мощным обобщающим способом изучения ландшафтных особенностей.

Для исследования геологического строения земной коры, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых используют многие методы дистанционной съемки: фотосъемку, магнитные способы, гамма-съемку, электроразведку, гравитационную разведку, радио- и лазерную локацию.

В сельскохозяйственном секторе методы дистанционного зондирования позволяют получать статистические данные о растительном покрове, данные об энергетических потоках в экосистемах, измерять площадь очагов распространения фитопатогенных факторов и т.д.

Лазерное сканирование лесных насаждений

Такие параметры лесных насаждений, как высота дерева, его объем, вертикальная структура насаждений и наличие подлеска могут быть определены с помощью как лазерных измерений, так радиолокационных измерений с самолета. Такие параметры особенно важны при проведении мероприятий по инвентаризации лесов.

Позиция и положение самолета-носителя сканирующего оборудования, а вместе с ним и самого оборудования с высшей степенью точности определяется двумя взаимодействующими навигационными системами: dGPS (*Differential Global Positioning System*) и LINS (*Laser Inertial Navigation System*). При помощи dGPS с частотой один раз в секунду определяется положение самолета относительно земной поверхности. Система LINS определяет три параметра: крен, тангаж и рысканье с частотой 64 Гц. После объединения показаний этих двух систем в центре наблюдений на земной поверхности становится известным положение самолета и, соответственно, ориентация лазерного сканера относительно сканируемой местности и траектории полета.

Таким образом определяется положение измерительного прибора относительно отражающего объекта в определенный временной момент. Зная все эти результаты, включая направление высланного лазерного луча, можно при последующей обработке данных для каждого конкретного измерения и временного момента восстановить положение отражающего объекта. В конце постобработки измерительных данных получают не итоговый растр, составленный из данных, предоставленных мультиспектральными сканерами самолетов и спутников, а трехмерное облако координат, из которого в последствии составляется образ объекта.

Наиболее перспективными в настоящее время являются: система лазерного сканирования ALTM производства канадской фирмы Optech и система лазерного сканирования немецкой фирмы TaroSys.

Точность измерений лазерных сканеров в системе TaroSys 1 <0,06м. Точность высоты растрового массива, в котором наряду с погрешностью измерений имеется и погрешности в системе координат, <0,10м.

Литомониторинг

Сейсмические волны (греч. Seismos - колебание, землетрясение) - упругие колебания, распространяющиеся в Земле от очагов землетрясений, взрывов и других источников. Регистрация сейсмических волн позволяет исследовать внутреннее строение земной коры и "твердой" Земли в целом. Различают объемные и поверхностные сейсмические волны; в свою очередь объемные волны различаются на продольные и поперечные.

Длина сейсмической волны - расстояние между соседними гребнями или впадинами волны. Обычно длины сейсмических волн, излучаемых очагами землетрясений, составляют несколько километров. Микросейсмы - слабые, почти непрерывные, квазистационарные возмущения, регистрируемые сейс-

мографом. Микросейсмы вызваны внешними и внутренними причинами: штормы в морях, прибой, ветры, ливни, деятельность людей и т.д. Период сейсмической волны - интервал времени между двумя соседними гребнями или впадинами; величина; обратная частоте волны. Обычно период сейсмических волн составляет 0.1-10 сек. Поверхностные сейсмические волны - сейсмические волны, распространяющиеся только вдоль поверхности Земли. Скорость поверхностных волн меньше скорости поперечных волн. Различают два типа поверхностных волн: волны Лява и Релея. Продольные сейсмические волны (Р-волны) - наиболее быстрые волны, распространяющиеся от источника сейсмических колебаний и представляющие собой последовательное сжатие и разряжение материала. Продольные волны проходят через все среды. Их скорость в 1.7 раза больше, чем скорость поперечных S-волн. Поперечные сейсмические волны (S-волны) - сейсмические волны, распространяющиеся медленнее, чем продольные Р-волны и состоящие из упругих колебаний, поперечных по отношению к направлению распространения волны. Поперечные волны не проходят через жидкость. Сейсмическая энергия землетрясений - часть энергии землетрясения, которая идет на образование сейсмических волн. Сейсмогенерирующая зона - зона активизированного разлома или нескольких сближенных активных разломов в земной коре, подвижки по которым приводят к разрядке внутрикоровых напряжений и возникновению сейсмических волн. **Мониторинг околоземного простран-**

ва

Мониторинг околоземного космического пространства - наблюдения и постоянный контроль 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.

ОКП внесено в закон РФ «Об охране окружающей среды» 2002г. (статья 4. Объекты охраны окружающей среды) как объект охраны.

Разработка и координация глобального мониторинга окружающей среды осуществляется в рамках ЮНЕП при ООН и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Основные цели этой программы (Коробкин, Передельский, 2000):

- 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 и 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.

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.*

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 (Климов и др., 2000):

- 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 и нарушения радиосвязи. Каждая категория разделяется на 5 уровней: незначительный (1 балл); умеренный (2 балла); сильный (3 балла); очень сильный (4 балла) и 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 и пассажиров высотных самолетов.

Далее, весьма большое значение имеет **экологический низкочастотный электромагнитный мониторинг**, который исследует:

- роли механизмов генерации и энергетики электромагнитных излучений в процессах передачи и трансформации энергии солнечного 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 на 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 электромагнитного излучения. Наиболее часто используется индекс $F10.7$ – величина потока радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см (2800 МГц), хорошо соответствующий изменениям суммарной площади солнечных пятен и количеству вспышек во всех активных областях (Иванов-Холодный, 2000).

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 также нуждаются в таком прогнозе.

Солнечно-земная физика (СЗФ) - это совокупность наук, изучающих явления и процессы, происходящие на Солнце, и воздействие Солнца на околоземное космическое пространство и планету Земля. Солнце является основным источником гравитационной энергии в солнечной системе и основным источником энергии, поступающей на Землю в волновом и корпускулярном излучении. Все изменения в физическом режиме Солнца находят отражение в состоянии околоземного космического пространства и планеты Земля. СЗФ изучает законы и закономерности физики Солнца и проявлений воздействия Солнца на околоземное пространство и планету Земля с целью раскрытия сущности этих явлений, понимания фундаментальных основ мироздания и обеспечения инженерной деятельности на планете и в ближнем космическом пространстве. Круг явлений и процессов, разыгрывающихся в околоземном пространстве, на планете и в ее оболочках под воздействием Солнца, очень велик и разнообразен. Поэтому к числу научных дисциплин, составляющих упомянутую совокупность, относятся теоретическая физика, физика плазмы,

Солнечный ветер - истечение корональной плазмы играет определяющую роль в состоянии околоземного космического пространства и магнитосферы. Процессы, происходящие в этих областях, выдвигают много проблем, общих для физики Солнца, физики магнитосферы, физики плазмы и астрофизики.

Весьма многообразно воздействие солнечного электромагнитного и корпускулярного излучения на атмосферу Земли. Излучение в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах определяет состояние верхних слоев атмосферы: частично мезосферы на высотах более 65 км и термосферы (высоты 90-400 км). Вопросы и проблемы, возникающие при изучении этих областей пространства, относятся к физике плазмы, физике верхней атмосферы, радиофизике и климатологии. В оптическом и, частично, инфракрасном диапазонах сосредоточена основная часть спектральной плотности излучения. Эта часть солнечной радиации трансформируется при энергообмене в средней и нижней атмосфере. Энергообмен является важнейшим фактором для общего течения процессов в нижней и средней атмосфере, а значит и для множества частных гидрометеорологических явлений. Известная связь гидрометеорологического режима с общей циркуляцией атмосферы и связь общей циркуляции атмосферы с солнечной деятельностью приводят к широкому распространению физико-географических проявлений солнечной активности. Имеют место систематические экзогенные явления. Появляющиеся здесь многочисленные задачи и проблемы решаются в рамках метеорологии, климатологии, гидрологии и физической географии.

Для примера можно привести данные о состоянии солнечной и геофизической активности (табл. 1), которая ежедневно распространяется *NOAA Space Environment Center Boulder, Colorado, USA*.

Вариации космических лучей

Это 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 и физических условий в Галактике. В соответствии с этим В.К.Л., обусловленные изменением указанных факторов делят на три класса.

Вариации I и II классов - метеорологического происхождения и обусловлены изменениями магнитного поля Земли.

Вариации III класса - т.е. вариации первичных космических лучей, которые представляют наибольший интерес для астрофизики. Находятся с помощью специальной методики, позволяющей исключить из данных наблюдений вариации I и II классов. К III классу В.К.Л. 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 т. н. эффект Форбуша и др.) обусловлено «выметанием» космических лучей из Солнечной системы неоднородными магнитными полями («магнитными облаками»), движущимися от Солнца вместе с солнечным ветром.

Солнечная активность изменяется с периодом около 11 лет. Аналогичным образом колеблется мощность солнечного ветра и количество «магнитных облаков». Интенсивность космических лучей колеблется с близким периодом (11-летняя вариация), причем интегральный поток галактических космических лучей вблизи орбиты Земли уменьшается примерно вдвое при переходе от минимума к максимуму солнечной активности. Сущест-

венную роли в 11-летней В.К.Л. играют крупномасштабная структура и динамика гелиомагнитосферы.

27-дневная В.К.Л. с амплитудой чуть менее 10% в межпланетном пространстве на орбите Земли соответствует периоду вращения Солнца и обусловлена асимметрией потока магнитных неоднородностей в солнечном ветре.

Эффект Форбуша (его впервые отметил в 1937 г. американский физик С. Форбуш) представляет собой кратковременное понижение интенсивности космических лучей (на 50% в межпланетном пространстве и до 25-30% - на поверхности Земли), обычно связанное с геомагнитной бурей. Этот эффект вызывается рассеянием галактических космических лучей магнитными полями, переносимыми солнечными корпускулярными потоками (т.е. солнечным ветром, усиленным вспышками на Солнце), когда поля оказываются у Земли и как бы защищают ее от космических лучей. Особенно глубокие понижения интенсивности космических лучей наблюдались в июле 1959 г., в ноябре 1960 г., в августе 1972 г., в феврале и мае 1978 г., в августе-сентябре 1979 г., в мае и октябре 1981 г., в июле 1982 г. (данные 1985 г.).

Солнечно-суточная вариация с амплитудой порядка чуть менее 2%, связанная с суточным вращением Земли, соответствует анизотропии потока первичных космических лучей, которая обусловлена различием свойств солнечного ветра в направлении на Солнце и в противоположном направлении.

Таблица 1.

NOAA SEC Report of Solar-Geophysical Activity 25 Jan 2002

:Product: Report of Solar-Geophysical Activity

:Issued: 2002 Jan 25 2210 UT

#Prepared jointly by the U.S. Dept. of Commerce, NOAA,

#Space Environment Center and the U.S. Air Force.

#Joint USAF/NOAA Report of Solar and Geophysical Activity

SDF Number 025 Issued at 2200Z on 25 Jan 2002

IA. Analysis of Solar Active Regions and Activity from 24/2100Z to 25/2100Z:

Solar activity was low. Region 9794 (N13W03) produced the largest flare of the past day, a C6/Sn at 25/0225 UTC.

Region 9787 (S09W21) remains the largest sunspot group on the visible disk but is not particularly complex and has not produced major activity.

New Regions 9800 (N07E63) and 9801 (S03E77) rotated into view.

IB. Solar Activity Forecast: Solar activity is expected to be low to moderate.

C-level activity is expected to continue and there is a small chance of an isolated M-class flare.

IIA. Geophysical Activity Summary 24/2100Z to 25/2100Z:

The geomagnetic field was quiet to unsettled.

IIB. Geophysical Activity Forecast: The geomagnetic field is expected to be quiet to unsettled.

III. Event Probabilities 26 Jan-28 Jan

Class M 30/30/30

Class X 01/01/01

Proton 01/01/01

PCAF green

IV. Penticton 10.7 cm Flux

Observed 25 Jan 235

Predicted 26 Jan-28 Jan 240/245/250

90 Day Mean 25 Jan 223

V. Geomagnetic A Indices

Observed Afr/Ap 24 Jan 003/004

Estimated Afr/Ap 25 Jan 006/006

Predicted Afr/Ap 26 Jan-28 Jan 008/008-008/010-008/010

VI. Geomagnetic Activity Probabilities 26 Jan-28 Jan

A. Middle Latitudes

Active 15/15/15

Minor storm 05/05/05

Major-severe storm 01/01/01

B. High Latitudes

Active 20/20/20

Minor storm 05/05/05

Major-severe storm 01/01/01

В нижней части ОКП на высотах 200-1000 км процессы, связанные главным образом, с солнечной активностью, являются основным возмущающим фактором, влияющим на движение космических аппаратов, фрагментов техногенного и естественного мусора (*Касименко, Микиша и др., 2000*):

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 O , 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 ~ 20 на высоте 600 км (область максимальной амплитуды данной вариации);
- полугодовой эффект, при котором максимальное изменение плотности на величину ~ 3 наблюдается на высотах ~ 500 -600 км;
- кратковременные и нерегулярные вариации плотности, связанные с геомагнитной активностью (до ~ 8 на высоте 600 км).

Естественный мусор в околоземном пространстве

Естественный мусор в ОКП представляет собой частицы размерами от долей микрона до метров и сотен метров, образованные в результате распада комет, астероидов. Значительная часть – частицы из метеорных потоков.

Естественный мусор в ОКП образует несколько слоев, начиная с высоты 80-85 км (мезопауза) и заканчивая геостационарной орбитой (35-40 тыс. км). Статистических данных о естественном мусоре на более высоких орбитах пока нет.

Техногенная засоренность ОКП достигла к началу XXI в. весьма значительных величин, что привело к созданию службы мониторинга техногенной космической обстановки: от датчиков прямого соударения до средств 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 корректи-

руемого банка данных о нем. До настоящего времени такого банка, подобного банку об ИСЗ, пока не существует.

Естественно, техногенное состояние ОКП, обусловленное наличием в нем космических аппаратов и отходов космической деятельности, прямо связано с его физическим состоянием.

В связи с появлением в ОКП в XX веке большого количества техногенных тел (космических объектов и техногенных отходов) было введено понятие техногенной космической обстановки, мониторинг которой в общем и 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 не вытекающих из этих свойств (*Пудовкин О.Л., 2000*). 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.

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 радар *Haystack*.

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 с 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 (*Cornilleau-Wehrlin, 2001*).

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 галактиче-

ских и солнечных космических лучей, сопротивление слоев верхней атмосферы, столкновения с космическим мусором и метеорными телами, эффекты ориентации, фотонный шум, деградация поверхностей (www.sec.noaa.gov).

К дистанционному мониторингу относятся, по сути, все методы наблюдения ОКП, возможные в 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 биосферы позволяют к какой-то степени оценивать воздействие процессов в ОКП на процессы в биосфере, прогнозировать экологическую ситуацию на Земле в зависимости от воздействия из космоса.

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 (*Физика косм. простр., 1997*) 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 в 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 на различные области околоземного пространства. Наконец, что весьма важно, активные эксперименты дают информацию для оценки масштабов антропогенных воздействий и их последствий, а также для установления экологических границ космических экспериментов и производственной деятельности в космосе. Понятие экологические границы используется для обозначения ограничений на такие воздействия, которые приводят к нежелательным возмущениям планетарной и космической среды или к разрушению уникальных космических объектов.

Анализ современных возможностей мониторинга околоземного космического пространства

Возможности мониторинга ОКП весьма ограничены как пропусканием земной атмосферы, так и пропусканием отдельных слоев ионосферы, магнитосферы, которое может изменяться в зависимости от их физического состояния.

На рис.1. показаны окна прозрачности атмосферы и ионосферы, наличие которых определяет основные требования к методам исследований ОКП и организации таких исследований на земной поверхности.

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 и магнитосферы.

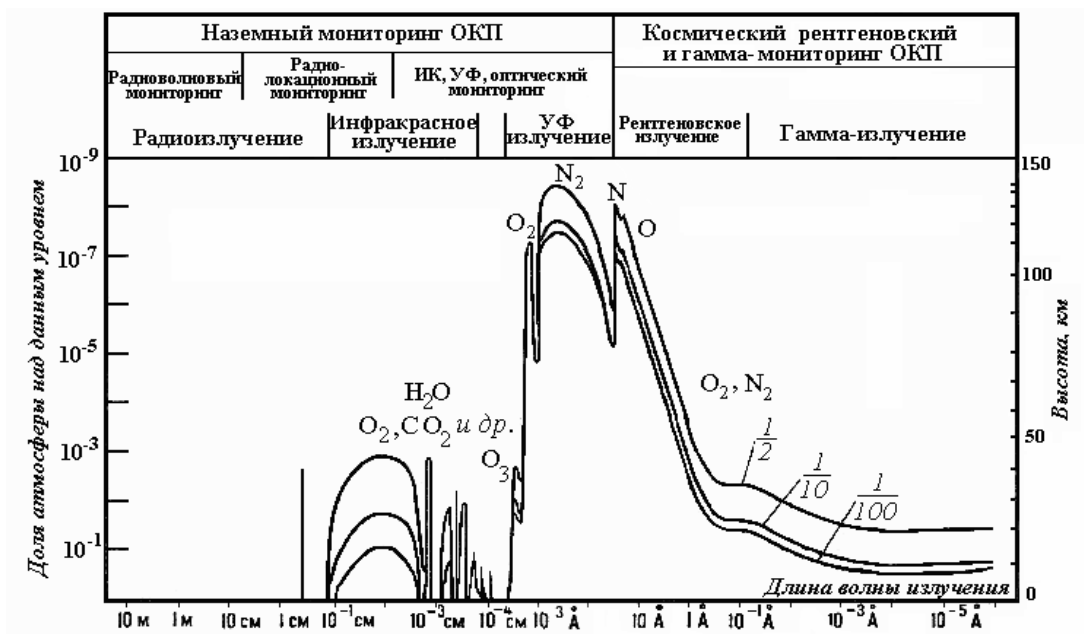


Рис. 1. Пропускание земной атмосферы и виды мониторинга ОКП

В УФ-области спектра излучение поглощается в основном слое озона с максимумом $3 \cdot 10^{12}$ молекул/см³ на высотах 25-27 км.

В интервале 180-100 нм поглощение определяется процессами ионизации и диссоциации кислорода, содержание которого уменьшается с высотой и становится исчезающе малым на высотах свыше 150 км.

В области короче 100 нм поглощение связано с процессами ионизации молекулярного азота и атомарного кислорода. Уменьшение их концентрации с высотой приводит к тому, что выше 150 км 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.

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 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. Поглощение во втором окне определяется молекулами CO_2 и H_2O .

В области субмиллиметровых волн ($\lambda > 100$ мкм) поглощение определяется молекулами H_2O , CO_2 и O_2 .

В области миллиметровых длин волн ослабление падающего излучения зависит от влажности атмосферы и определяется полосами поглощения водяного пара и молекулярного кислорода.

В декаметровой области 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 и 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.

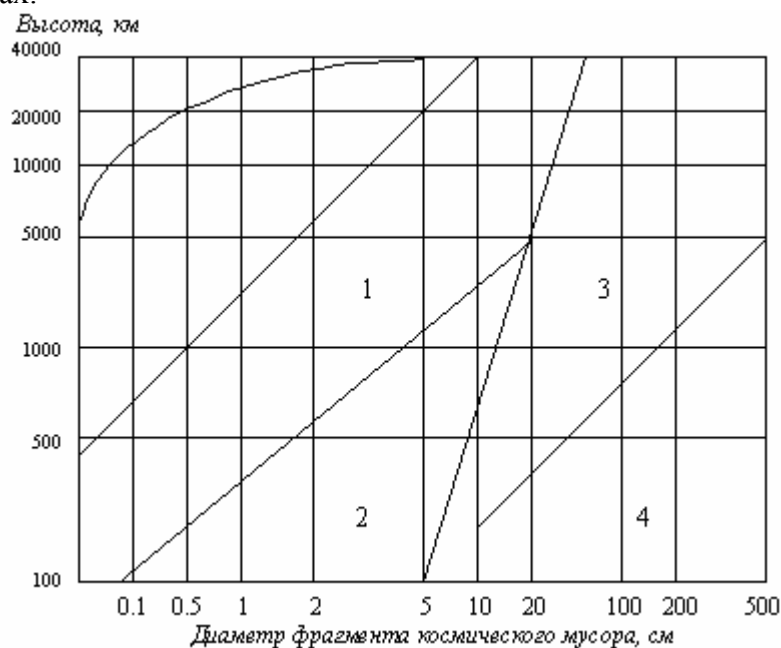


Рис. 2. Возможности наземных средств мониторинга ОКП (Логинов, Пирогова, 2000).

К наземным средствам мониторинга относятся радиолокационные, лазерные и оптические устройства, позволяющие вести наблюдения вплоть до геостационарных орбит - рис. 2 (Логинов, Пирогова, 2000).

Наземные радиолокационные станции (4), 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 (Goldstein, 1995). Постоянный контроль таких частиц космического мусора на низких орбитах осуществляется, главным образом, с помощью РЛС «Haystack» (США) и «Fgan» (Германия) (Козлов, 1997; Мешков, 2001).

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.

В связи с этим большое значение для нашей страны имеет разработанный ОКБ МЭИ комплекс радиолокационного мониторинга ОКП (Мешков, 2001). Базой комплекса «Кобальт-РЛС» являются радиотелескопы ТНА-1500, размещенные на подмосковном пункте «Медвежьи Озера» и в г. Калязин (Тверская обл.), а также передатчик С-диапазона мощностью 3,9 кВт в непрерывном режиме.

Для радиозондирования околоземных космических объектов (планет земной группы, сближающихся с Землей астероидов, объектов космического мусора) на частоте 5010 МГц используется радиопередающая 70-м антенна в Евпатории. Она используется Радиоастрономическим институтом Национальной академии наук Украины по соглашению с Национальным космическим агентством Украины в рамках темы «Интерферометр» (Молотов И., 2004).

Таблица 2

Параметры системы	Возможности современных систем РЛС				
	Аресибо	Голдстоун	Евпатория	Хайстек	Кобальт РЛС
Рабочая длина волны, см	12,6	3,5	6	3	6
Мощность, кВт	1000	480	150	16	5
Площадь передающей антенны, м ²	30360	2560	2600	700	2000
Площадь приемной антенны, м ²	30360	2560	2X2000	700	2000
Шумовая температура приемной системы, К	30	20	50	25	50
Минимальный размер регистрируемого объекта на низкой орбите, мм	1,8	0,8	1,7	1,4	5
Минимальный размер регистрируемого объекта на геостационарной орбите, мм	20	8	10	16	30

К перспективным средствам получения некоординатной информации о телах различного происхождения в ОКП относится радар некогерентного рассеяния ИСЗФ 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 (Татевян, 2004). Режим частотного сканирования и веерная диаграмма направленности, высокий потенциал позволяют радару осуществлять одновременно с определением параметров ионосферы измерение некоординатной информации о телах в ОКП (Заворин и др., 2001).

Одним из основных средств контроля ОКП остается российско-украинская радиолокационная система, состоящая из 70-метровой антенны и передатчика 6-сантиметрового диапазона со средней мощностью 150 кВт в Евпатории и двух 64-метровых антенн ОКБ МЭИ, которая и обеспечивает основную массу исследований в этой области.

Два десятилетия используется система двух 70-м радиотелескопов в Евпатории и Уссурийске (рис. 3), дающая при радиолокации межпланетных КА точность в определении их скорости порядка 0,3 мм/с.

В 2003 г. закончен монтаж радиоастрономического комплекса «Квазар», состоящий из трех радиотелескопов, расположенных на Байкале, в Ленинградской области и на Северном Кавказе (*Вести.ру*, 2003).

Здесь следует отметить, что разработанные в настоящее время двухпозиционные радиолокационные системы и высокопотенциальные РЛС сантиметрового диапазона (1) могут быть использованы для регистрации космического мусора размером от нескольких мм до нескольких см в диапазоне расстояний до геостационарной орбиты.



Рис. 3. Радиотелескопы в Евпатории (фото автора) и Уссурийске

Наземные лазерные локационные средства (3) 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 в 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 (*Выгон и др.*, 2000; *Ардашев и др.*, 1998).

В настоящее время **Российская лазерная сеть** включает в себя (*Выгон и др.*, 2000): 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 меньше 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 дальнометров, они не используются для непрерывного мониторинга ОКП.

Оптические наблюдения являются одним из основных средств мониторинга ОКП, позволяющие обнаруживать, сопровождать, распознавать космические тела размерами от 5 см на низких орбитах до 1 м на геостационарных орбитах. Единственным недостатком оптических систем является их прямая зависимость от условий наблюдения (состояние атмосферы, яркости фона неба и др.), что в значительной степени стимулирует создание оптических систем мониторинга ОКП космического базирования.

Следует отметить, что информация, получаемая средствами оптико-лазерных систем, не конкурирует с данными радиолокационного мониторинга. Эти два средства мониторинга ОКП дополняют друг друга.

Сопоставление зон действия радиолокаторов и оптических средств мониторинга на показывает, что (*Багров, 1995; Логинов, Пирогова, 2000*), допустимо как расширение зоны действия РЛС в область высоких орбит, так и применение оптических телескопов с большой апертурой для мониторинга низких орбит. Однако, повышение проникающей силы оптических инструментов до уровня, достаточного для изучения пылевой составляющей, технически осуществимо, тогда как повышение эффективности РЛС ограничено дифракцией радиоволн на частицах размером порядка длины волны локатора.

К основным методам оптического мониторинга относятся методы астрометрии и небесной механики, предоставляющие данные для определения орбит, многоцветная фотометрия, спектральный и поляриметрический методы (некоординатная информация), необходимые для распознавания объектов.

Все эти методы образовали новую науку, занимающуюся мониторингом ОКП – **околоземную астрономию** (*Багров, 2001*).

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 формирования 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.

К средствам оптического мониторинга ОКП можно в принципе отнести любой телескоп, с помощью которого можно обнаружить объект, произвести измерения его орбиты и оптических характеристик.

«Космическая опасность»

Опасность астероидная - опасность того, что астероиды, имеющие вытянутые орбиты с перигелием, близким к Солнцу, могут столкнуться с Землей. Считается, что в Солнечной системе насчитывается от 1500 до 2000 опасных для Земли астероидов.

Для мониторинга опасных астероидов организован целый ряд служб, которые в процессе своей деятельности не только открыли большое число опасных астероидов, но и весьма большое число астероидов Главного пояса, пояса Койпера, комет и т.д.



Рис. 4. Один из телескопов системы LINEAR



Рис. 5. Российская система контроля космического пространства ОКНО

LINEAR (Lincoln Near-Earth Asteroid Research)

Проект пользуется 1-м телескопами службы контроля космического пространства GEODSS BBC США, находящимися в 7 регионах мира

Spacewatch: 0,9-м и 1,8-м телескопы обсерватории Китт Пик (Аризона).

NEAT (Near-Earth Asteroid Tracking) – 1,2-м телескоп Паломарской обсерватории.

Институт астрономии РАН. Звенигородская станция наблюдений ИСЗ. камера СБГ и 60-см телескоп.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН. Станция наблюдений космических объектов «Космотэн».

ОКНО – система контроля космического пространства МО РФ (Таджикистан).

Эпизодические исследования в области мониторинга ведутся во многих обсерваториях страны (Пулково, Екатеринбург, Иркутск, Уссурийск, Терскол, и т.д.).

Основную роль в открытиях астероидов играет в настоящее время проект Массачусетского технологического института LINEAR, по которому с 1998 г. ведутся ПЗС-наблюдения астероидов и объектов в ОКП.

Указанными службами к 2002 г из 1500-2000 опасных для Земли астероидов открыты уже около 600 объектов (www.nasa.gov, 2002).

На рис. 6. приведена динамика открытий опасных астероидов различными службами к 2003 г.

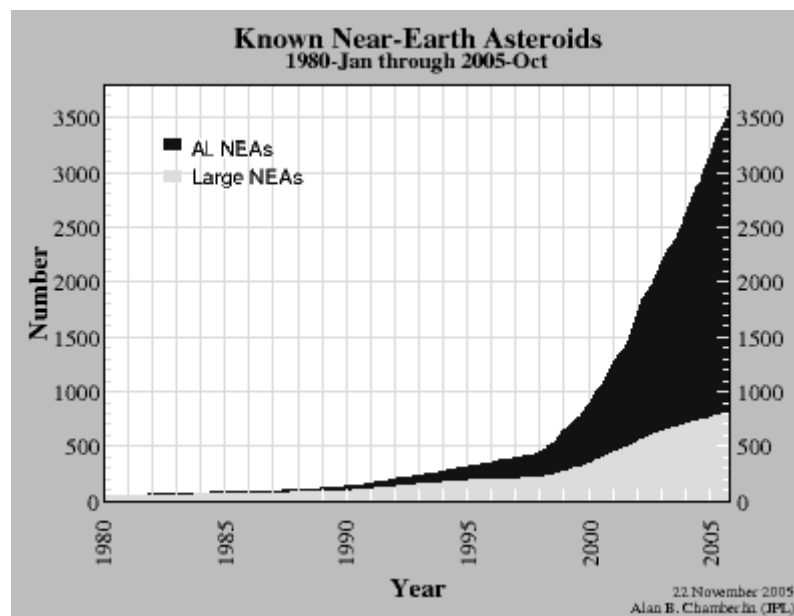


Рис.6. Динамика открытия опасных астероидов различными службами

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. Таким образом, при исследовании техногенного мусора в ОКП применяются главным образом телескопы на монтировках, специально разработанных для наблюдений ИСЗ. Исключение составляют наблюдения объектов на геостационарных орбитах.

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.

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 и молекулами CO_2 атмосфере. Кроме того, при применении космических средств обнаружения ранее неизвестных фрагментов космического мусора позволяет (Емельянов и др., 2001):

- 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 (Абросимов и др., 2000) 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 будут осматривать более 20-

25% небесной сферы, поэтому приоритет получаемых данных достаточно высок (*Артамонов и др., 2000*).

Подобные эксперименты, имеющие характер постоянного мониторинга ОКП, в мировой практике ранее не выполнялись из космоса.

Задача 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. 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 способны реагировать на удар частиц размерами от долей миллиметра до сантиметра при скоростях соударения от нескольких десятков метров в секунду. Подобные датчики в нашей стране устанавливались на ИСЗ и орбитальных станциях «Салют» и «Мир», американских спутниках (*Смирнов и др., 2001*). Весьма эффективно с 1996 г. работает прибор GORID (Geostationary Impact Detector) Европейского космического агентства на Российском геостационарном спутнике «Экспресс-2» (*Микуша, Рыхлова, Смирнов, 2001*).

При изучении воздействия космического мусора на объекты в ОКП показано, что существует принципиальная возможность использования плоских СБ для измерения параметров частиц космического мусора (*Бургасов, Надирадзе, 2002*). В соответствии с проведенными расчетами, СБ скачкообразно и необратимо теряют от 0,1 до 0,5% электрической мощности при ударах частиц, имеющих скорости выше 6-7 км/с и размеры $d_k > 0,03-0,04$ см. Потоки таких частиц на низких и средних орбитах достигают уровня $1-2 \text{ м}^{-2}\text{год}^{-1}$, что, при площади батарей $S=50 \text{ м}^2$, позволяет проводить измерения плотности потока частиц с точностью не хуже 30% в течении 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. Вместе с тем, можно отметить, что в этой области остается еще масса проблем, требующих решения и на принципиальном, и на практическом уровне.

Следует отметить, что проблема определения мониторинга ОКП тесно связана с определением экологических границ человеческой деятельности в околоземном пространстве, что в настоящее время весьма актуально (*Физика косм. простр., 1997*).

На астрономической обсерватории Рязанского госуниверситета имени С.А. Есенина разработана оптическая система мониторинга загрязнения ОКП космическим мусором естественного и техногенного происхождения на основе ПЗС-камеры в качестве приемника излучения (*Муртазов и др., 2006; Муртазов, 2007, 2009*).

Перспективный вид функциональной схемы комплексного мониторинга естественных и техногенных объектов в ОКП приведена на рис. 7. Аппаратно система реализована как сосредоточенная (вариант распределенной, в которой вся обработка информации происходит в одном месте) система сбора и обработки данных. Основными элементами системы являются устройства получения и передачи информации о световых потоках от небесной сферы и объектов на ней и устройство сбора и обработки поступающей информации.

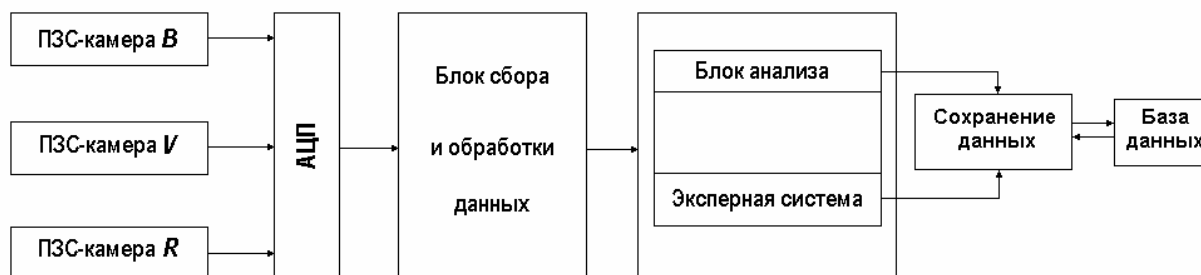


Рис. 7. Функциональная схема системы оптического мониторинга загрязнения ОКП

Общий вид приемника излучения, представляющего собой ПЗС-камеру с широкоугольным объективом, приведен на рис. 8.



Рис. 8. Камера Wat-902H с широкоугольным объективом T2314FICS. Поле зрения системы 129X99 град.

ПЗС-камера

Наиболее доступной на настоящий момент оказалась система, основанная на черно-белой телевизионной камере KPC-650BH фирмы "KT&C" (Корея), снабженной 1/3" матрицей SONY ICX-249AL EX-View (табл. 3) и камере Wat-902H с 1/2" матрицей того же типа.

Камеры на основе этих матриц последних поколений уже начали использоваться в метеорной астрономии для организации метеорного патруля.

Таблица 3

Технические параметры ПЗС-камер KPC-650BH и Wat-902H

Параметр	KPC-650BH	Wat-902H
Стандарт	CCIR 50Гц	CCIR 50Гц
Чувствительный элемент:	1/3" SONY EX-View CCD	1/2" SONY EX-View CCD
Общее количество пикселей:		795 (Г) x 596 (В)
Размер ячейки:		8,6 мкм (Г) x 8,3 мкм (В)

Развертка	Чересстрочная	2:1, чересстрочная
Разрешение	Горизонтально 600 твл	более 570 ТВЛ
Чувствительность:	0,0003 лк/ F1.2	0,0002 лк (APY вкл., F1,4)
Отношение сигнал/шум:	Более 50 дБ	более 50 дБ
Видеовыход:	1.0 В (75 Ом, композитный)	композитный сигнал с размахом 1 В, 75 Ом (BNC)
Диафрагма	-	Электронные диафрагма и затвор 1/50 ~ 1/100 000 сек
APY:	-	вкл./выкл.
Гамма-коррекция:	-	0,45 / 0,6 / 1
Напряжение питания:	12В ±10% DC	12 В DC +/-10%
Потребляемый ток	130 мА	160 мА
Рабочая температура	-10° С+ 40° С	-10° С+ 40° С
Габаритные размеры	31х36х112,83мм	35,5х36х58 мм

Спектральные характеристики

Нами произведены измерения спектральной чувствительности системы, состоящей из камеры KPC-960BH с матрицей ICX-249AL, объективов SSE0612NI F1.2, T2314 и набора абсорбционных стеклянных фильтров. Для фильтров CC-4, 3C-8, OC-14 получены кривые, наиболее близкие к кривым реакции системы BVR (рис. 9)

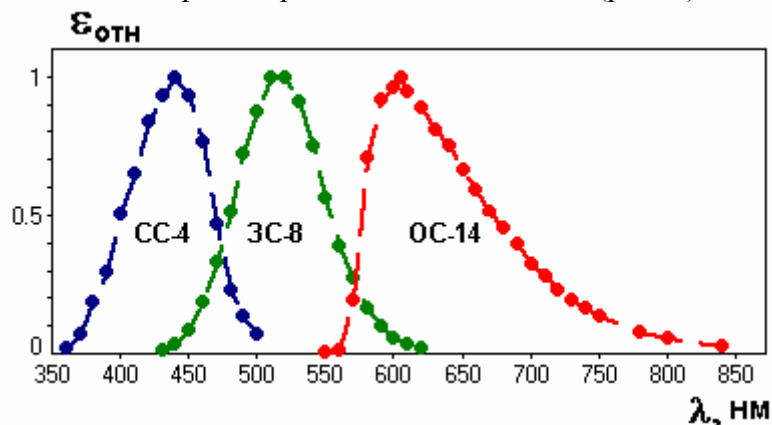


Рис. 9. Кривые реакции матрицы ICX-249AL с фильтрами, имитирующими систему BVR

Объективы

Все объективы в той или иной степени имеют, главным образом, отрицательную (подушкообразную), причем, с уменьшением фокусного расстояния объектива искажения возрастают. Приемлемую дисторсию для 1/3" и 1/2" камер имеют объективы с фокусными расстояниями больше 6-12 мм.

На рис. 10 приведены результаты определения дисторсии для системы с широкоугольным 12-мм объективом. На нем R - идеальное расстояние звезд от центра снимка, D - расстояние по небесной сфере от центра снимка (Муртазов и др., 2007). Для сравнения на следующем рисунке показана дисторсия для 6-мм объектива по данным (Yrjölä I., 2003).

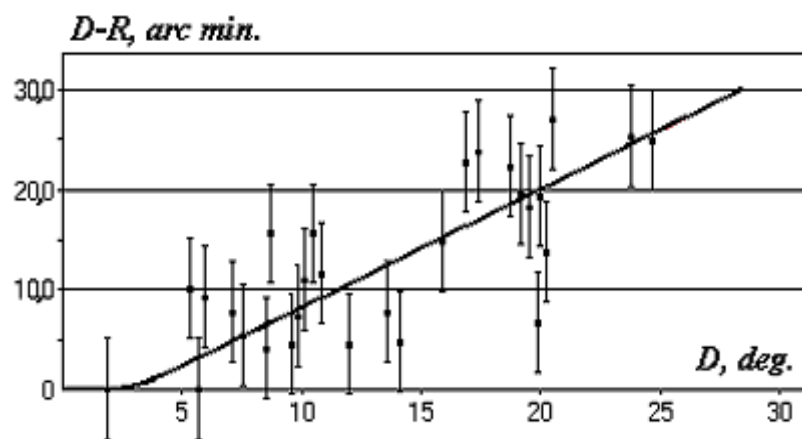


Рис. 3.6. Оптические искажения системы
«камера KPC-650H-объектив SSE0612NI F1.2»

Основные технические параметры системы приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные параметры системы экологического мониторинга ОКП

Приемная камера	
KPC-650BH (ICX-249AL)	
размер матрицы, дюйм	1/3
размер пиксела, мкм	8,6X8,3
минимальная требуемая освещенность, лк	0,0003
разрешение, твл.	570
поле зрения (объектив Computar T2314FICS) град	113X86
дисторсия на краю (объектив Computar T2314FICS), град	1,6
проницающая способность в режиме сложения, зв. вел.	
Wat-902H (ICX-249AL)	5,8
размер матрицы, дюйм	
размер пиксела, мкм	
минимальная требуемая освещенность, лк	1/2
разрешение, твл.	8,6X8,3
поле зрения (объектив SSE0612NI F1.2), град	0,0003
дисторсия на краю (объектив SSE0612NI F1.2), град	570
проницающая способность в режиме сложения, зв. вел.	60X45
Точность определения блеска	0,6
в режиме сложения кадров, зв. вел.	6,5
в телевизионном режиме, зв. вел.	
Разрешение по времени, с	
Объем накопления информации, Гб/ч	0,24
Управление	0,07
AMD Turion 64 Mobile, 1.60 GHz, 1 Gb,	0,04
100 Gb HDD	3-30

Биологические методы мониторинга

Биоиндикатор – организм, вид или сообщество, по наличию, состоянию, поведению и особенностям развития которого можно с большой достоверностью судить о свойствах среды, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей.

Живые индикаторы имеют большие преимущества, устраняя применение дорогостоящих и трудоемких физико-химических методов при определении загрязнения среды: они суммируют все без исключения биологически важные данные о загрязнениях, указывают скорость происходящих изменений, пути и места скоплений в экосистемах различного рода токсикантов, позволяют судить о степени вредности тех или иных веществ.

Многие организмы весьма чувствительны и избирательны по отношению к различным факторам среды обитания (химическому составу почвы, вод, атмосферы, климатическим и погодным условиям, присутствию других организмов и т. п.) и могут существовать только в определенных, часто узких границах изменения этих факторов.

Например, скопления морских рыбоядных птиц свидетельствует о подходе косяков рыб.

Специфические организмы планктона и бентоса указывают на происхождение водных масс и течений, характеризуют определенные параметры среды обитания (соленость, температура и т. п.).

Некоторые лишайники и хвойные деревья являются биоиндикаторами чистоты воздуха.

Ряд почвенных микроорганизмов и некоторые растения служат биоиндикаторами при поисках различных полезных ископаемых.

По комплексам почвенных животных можно определять типы почв и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности человека.

Локальные внутривидовые группировки у многих животных, например у рыб или грызунов, характеризуются в зависимости от района обитания различными комплексами паразитов-индикаторов.

При помощи биоиндикаторов устанавливают содержание в субстрате биологически активных веществ, а также определяют интенсивность различных химических (*pH*, содержание солей и др.) и физических (радиоактивность и др.) факторов среды.

Биотестирование – оценка с помощью биоиндикаторов загрязнения окружающей среды и постоянный контроль ее качества и изменений (биомониторинг). Так, например, рядом авторов отмечено, что после аварийного разлива нефти происходит резкое увеличение численности углеводородокисляющих бактерий (на 3–5 порядков величины). Если в чистых экосистемах они составляют обычно менее 0,1% от общего микробного населения, то в экосистемах океана, загрязненного нефтью, их доля может составить 100%. Гетеротрофные индикаторные бактерии объединяют в группы в зависимости от используемого субстрата (например, гексадекан-окисляющие, бенз(а)пирен-трансформирующие, ксилит-трансформирующие, полихлор-бифенил-трансформирующие). Определение индикаторных групп бактерий положено в основу микробного тестирования распространения тех или иных загрязняющих веществ в различных средах. Многоклеточные организмы используются при биотестировании воздуха (обычно растения), воды (некоторые животные и водоросли), почвы (растения и почвенные животные).

Существуют различные методы биотестирования:

- фитологическое картирование – картирование числа видов и степени проективного покрытия и сравнение с эталоном, в качестве которого обычно используют заповедные территории;
- экспозиция в загрязненной среде растений или животных – биоиндикаторов и сравнение их с выращенными в нормальных условиях;
- анализ изменений в составе и численности видов в сообществах;
- анализ видимых повреждений организмов и другие методы.

Довольно часто в целях биотестирования измеряют содержание загрязняющих веществ в организмах. Этот метод связан с явлением биоаккумуляции.

Биоаккумуляция (от греч. *bios* – жизнь и лат. *accumulatio* – накопление), синоним **биоконцентрирование** – накопление в организме загрязняющих веществ, поступающих

из окружающей среды. Накапливаются обычно вещества стойкие и активно включающиеся в обменные процессы в организме. К стойким веществам (с большим периодом биологического полураспада) относятся хлорированные углеводороды, тяжелые металлы и т. д. У человека хлорированные углеводороды накапливаются в жировых тканях, а, например, кадмий – в почках. Особенно в больших масштабах биоаккумуляция обнаруживается в водных организмах, где коэффициент накопления загрязнителей по отношению к его содержанию в воде может достигать 10^3 – 10^4 и более. Многие организмы усваивают загрязнители селективно. Так, например, некоторые виды съедобных грибов накапливают кадмий, морские многоклеточные организмы асцидии накапливают ванадий, а морские одноклеточные радиолярии и обыкновенный укроп накапливают стронций.

Таблица 1

Основные растительные индикаторы загрязнения атмосферного воздуха
(Денисов, 2004)

Химические загрязнения	Важнейшие древесные породы	Сельскохозяйственные и декоративные растения
Диоксид серы SO_2	Ель (европейская серебристая) Пихта европейская Сосна обыкновенная, Банкса Ясень американский, лиственница	Пшеница, ячмень, гречиха Люцерна, горох Клевер, хлопчатник Фиалка
Фтористый водород HF	Ель европейская Пихта европейская Сосна обыкновенная, Орех грецкий	Виноград, абрикос, петрушка Гладиолус, ландыш Тюльпан, нарцисс Рододендрон
Аммиак NH_3	Граб обыкновенный Липа сердцевидная	Сельдерей Махорка
Хлористый водород HCl	Ель европейская Пихта кавказская Лиственница европейская Ольха клейкая Лещина обыкновенная	Фасоль обыкновенная Шпинат, редис Смородина клубника
Озон O_3	Сосна Веймутова	Табак, картофель, соя Томаты, цитрусовые
Тяжелые металлы	Теуга канадская Вяз гладкий Боярышник обыкновенный	Овсяница Орхидеи Бромелиевые

Антропогенное загрязнение атмосферы существенно влияет на высшие растения: изменяет окраску листьев, вызывает некроз, опадание листьев, изменяет форму роста, ветвления и др.

Наиболее чувствительными к различным химическим загрязнениям воздуха являются хвойные растения, особенно страдающие от присутствия в нем диоксида серы. Чувствительность к нему убывает в последовательности «ель-пихта-сосна-лиственница» (табл. 1).

Надежными индикаторами на озон являются наиболее чувствительные сорта табака, томаты, цитрусовые.

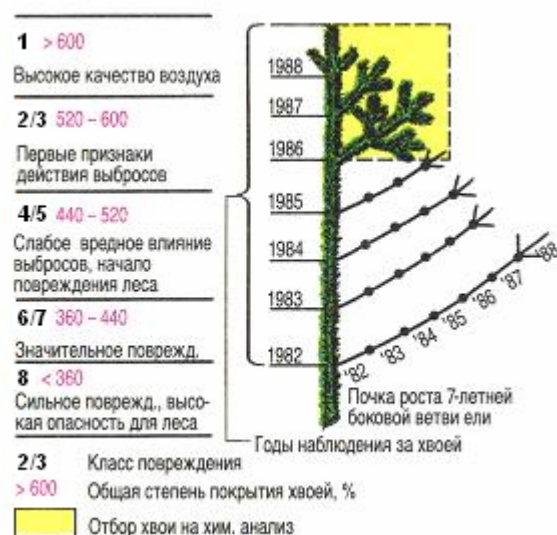


Рис. 1. Ветка ели для исследования поражения хвои

Лиственные и хвойные деревья накапливают вредные вещества в листьях, хвое и годовых кольцах древесины. По картине поражения нельзя непосредственно определить вещество – источник поражения. В коре накапливаются ионы вредных веществ, которые можно обнаружить по изменениям показателя pH и теплопроводности.

Хвойные деревья подвержены воздействию загрязненного воздуха в большей степени, чем лиственные. Хвоя в возрасте от 3 до 7 лет, интенсивно усваивая загрязнения, начинает преждевременно опадать, что позволяет провести надежную биоиндикацию степени повреждений (рис. 1).

Чрезвычайно чувствительными *индикаторами загрязнения воздуха* вследствие особенностей биологии и физиологии являются *лишайники* и *мхи*. По этой причине в Германии, например, лишайники часто используют в качестве биоиндикаторов загрязнения воздуха в промышленных зонах (рис. 2), в странах Скандинавии в качестве индикатора загрязнения воздуха тяжелыми металлами используют сфагновые мхи.

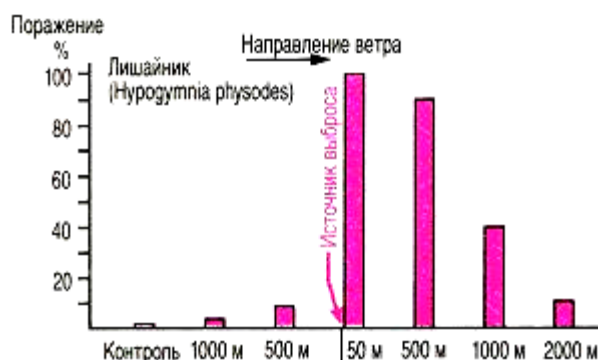


Рис. 2. Поражения в зоне алюминиевого завода через 48 часов выдержки на открытой местности (Дрейк, 2003)

Лишайники – пойкилогидридные эпифиты, зависящие от влажности воздуха и осадков. Их талломы не имеют кутикулы, поэтому вредные вещества проникают в них легко и накапливаются, не выходя обратно.

Действие вредных выбросов SO_2 , O_3 , HF , тяжелых металлов проявляется визуально.

Лишайники более чувствительны, чем высшие растения.

При пассивном мониторинге на естественном месте обитания исследуют отдельные индивидуумы, их численностью, количество видов. Три этих компонента с прибли-

жением к источнику выброса (промзоны, крупные города) начинают уменьшаться вплоть до полного исчезновения (лишайниковая пустыня, рис. 2). Критерием поражения лишайника служит относительная площадь отмершего слоевища (таллома).

Группа лишайников (Л.)	Степень покрытия	Зона лишайников	Повреждение леса
 Л. бородавчатый	Встречается	I ЗЧВ	Отсутствует
 Кустистый Л.	Встречается	II Внешняя зона поражения	
 Л. листоватый	> 50 % 10 – 50 % < 10 %	III Средняя зона поражения	
 Л. корковидный	Часто	IV Внутренняя зона поражения	Начало
 Водоросли	Следы > 50 % 10 – 50 % < 10 %	V Лишайники отсутствуют (лишайниковая пустыня)	Увеличивается Сильное Очень сильное

ЗЧВ – зона чистого воздуха

Рис. 3. Оценка степени повреждения лесов по поведению эпифитов

Некоторые критерии состояния растительности и животных применительно к выделению зон экологического риска (ЭР), кризиса (ЭК) и бедствия (ЭБ) приведены в табл. 2 (Емельянов, 1994).

В последнее время в качестве комплексного показателя загрязнения почвы рекомендуется использовать показатель фитотоксичности.

Фитотоксичность – тестовый интегральный показатель, характеризующий свойство загрязненной почвы подавлять прорастание семян, рост и развитие высших растений (Денисов, 2004).

Морфологические поля

Морфогенетические поля – векторные (градиентные) поля в пространстве, порождаемые развивающимися зачатками и определяющие их морфогенетические движения (перемещение клеток и клеточных пластов в развивающемся зародыше животных, приводящие к формированию зародышевых листков и зачатков органов) в ближайший период развития. Все интерпретации морфогенетических полей основаны на данных на регуляционном, структурно-устойчивом характере развития организма и о зависимости судьбы его частей от положения в целом. Структурно-устойчивый путь развития живых систем (креод) является одним из фундаментальных свойств развивающихся систем. Он сохраняется при наличии естественных или искусственных внешних возмущений окружающей среды.

Идея «биологического поля» развита в 30-х гг. гистологом и эмбриологом А. Г. Гурвичем и незаслуженно забыта в настоящее время. Первоначально Гурвич мыслил "поле" как некий материальный фактор, однако впоследствии склонился к тому, что "сама идея поля сможет быть со временем облечена и в язык физики". Стержневым моментом в его концепции был поиск таких инвариантных законов, которые могли бы работать в условиях "неудержимости эмбриогенеза", при непрерывной смене субстрата - "в потоке". "Сначала инвариантность любой ценой, а потом происхождение и идентификация инвариантного начала". Гурвич был противником того, чтобы общую теорию наследственности оценивать только через менделевские принципы. "Формальная генетика оперирует отдельными признаками (доступными для гибридологического анализа) различной природы: химические, цитологические, макро-

морфологические. Считается, что организм может быть поделен на признаки (без остатка). Это недопустимо. Признаки - это конечный результат процессов развития, но анализ самих процессов генетика не считает своей задачей... Мы... приходим к логической необходимости признать истинно реальным объектом наследственности сам процесс осуществления типичного хода эмбрионального развития." На основе экспериментов Гурвич показал, что в цитоплазме имеются упорядоченные группировки тех или иных молекул, которые он назвал неравновесными молекулярными констелляциями. Существование подобных систем он объяснил наличием неких ориентирующих факторов, или поля.

Источником поля Гурвич считал молекулы ядерного хроматина в момент их синтеза (образования комплекса ДНК - белок), при этом поле ядра существует постоянно, преемственно передаваясь через молекулы ДНП. Суммарный источник поля сосредоточен в центре ядра. Наиболее равновесным положением ядра является геометрический центр клетки. Любая "скошенная" конфигурация клетки будет неравновесной. Каждый источник создает вокруг себя пространственно анизотропное поле, т. е. векторы поля неодинаковы по трем направлениям пространства. Это можно выразить эллипсоидом с тремя неравными осями, описанным вокруг источника поля. Конфигурация эллипсоида анизотропии принимается за видовую постоянную и является в теории поля единственно наследственно преформируемым началом, из которого эпигенетическим путем выводится разнообразие органических форм.

Этот последний постулат является для нас отправным пунктом для обоснования механизмов становления оогенетической сегрегации на основе видоспецифичной пространственной организации хромосомного аппарата трофоцитов. Прежде чем перейти к формулировке нашего представления, отметим, что физический смысл «полю Гурвича» придал Н. К. Кольцов (1936), описавший развитие яйца в терминах электрического силового поля. Оно "создается благодаря выводу из ядра в ооплазму веществ с различными электрическими потенциалами и оно ориентировано согласно общему плану строению ооцита, но детализирующего и закрепляющего этот план. Еще до созревания этот план в существенных чертах намечен, преформирован". В 1930 г. Спэк обнаружил в яйце *Nereis* катафорезные токи, возникающие за счет разницы потенциалов и обеспечивающие перемещение веществ в ооплазме.

В отличие от биоиндикации **методы биотестирования** представляют собой характеристику степени воздействия на водные биоценозы. Они позволяют получить достаточно надежные данные о токсичности конкретной пробы загрязненной воды, чем приближаются к химическим. Но в отличие от последних они позволяют реально оценить токсические свойства воды, обусловленные наличием комплекса загрязняющих химических веществ.

Таким образом, биотестирование воды представляет собой оценку качества воды по ответным реакциям водных организмов, которые являются в этих случаях тест-объектами – табл. 3 (Денисов, 2004).

Биотестирование является основным приемом в разработке ПДК химических веществ в воде. При этом определяют такие параметры, характеризующие токсичность, как ЛК₅₀ (летальная концентрация 50% тест-организмов), ЭК₅₀ (эффективная концентрация для 50% тест-организмов), МНК (максимально недействующая концентрация), ОБУВ (ориентировочно безопасный уровень воздействия), ОТД (острое токсическое действие), ХТД (хроническое токсическое действие), и ЛВ₅₀ (время гибели 50% тест-организмов).

Таблица 2

Область применения методов биотестирования токсичности водной среды

Объект биотестирования	Параметры токсичности, норматив	Цель биотестирования	Тест-организм
Химические вещества	Концентрации: ЛК ₅₀ , МНК, ПДК, ОБУВ, ЭК ₅₀	Рыбохозяйственное нормирование, контроль токсичности в международной торговле	Гидробионты – представители основных трофических уровней водных экосистем. Стандартный набор тест-организмов
Производственные, технологические и сточные воды (точечные источники загрязнения)	Коэффициент (кратность) разбавления	Оценка эффективности очистки, выявление опасных компонентов, регламентация сброса, экологическая паспортизация предприятий	Набор биотестов
Природные воды (не-точечные источники загрязнения)	ОТД, ХТД, ЛВ ₅₀	Проверка соответствия качества воды установленным регламентам. Оценка токсикологического состояния водных объектов. Выявление зон экологического бедствия и чрезвычайных ситуаций	Набор биотестов

Перспективные методы биотестирования*(География и мониторинг биоразнообразия, 2002)***Биолюминесценция**

Биолюминесценция (от био и лат. *lumen* – свет, + -escent – суффикс, означающий слабое действие) широко распространена в природе и известна у бактерий, грибов, представителей разных типов животных – от простейших до хордовых. Биолюминесценция – это видимое свечение живых организмов, связанное с процессами их жизнедеятельности и обусловленное у значительного числа видов ферментативным окислением особых веществ – люциферин. У многоклеточных организмов (ракообразных, насекомых, рыб и др.) свечение часто обусловлено симбиотическими бактериями. Свечение может испускать вся поверхность тела или специальные органы. Продолжительность свечения варьирует от длительного, продолжающегося часы, до коротких вспышек, измеряемых у некоторых организмов долями секунды. Свет при биолюминесценции самых разных тонов – от голубого до красного. Биолюминесценция представляет собой один из типов хемилюминесценции: в ходе химической реакции выделяется энергия, которая не теряется в виде тепла и не сопряжена с какими-либо реакциями синтеза, а превращается в энергию электронного возбуждения молекул, способных выделять ее в виде фотонов. Как известно, хемилюминесцентные методы диагностики отличаются особой чувствительностью и представляют собой разновидность каталитических методов анализа, когда продукт реакции обладает хемилюминесцентными свойствами. Учет фонового свечения при этом проводят, анализируя пробы воды, предварительно обработанные каталазой, а также пробы с «внутренним стандартом» (малыми добавками H₂O₂).

Для целей биодиагностики используют различные светящиеся организмы, измеряя специальными приборами изменение интенсивности свечения под действием токсикантов. Наиболее часто в качестве биоиндикаторов используют морские люминесцентные бактерии. Морские люминесцентные бактерии легко культивируются и оптимальным образом сочетают в себе различные типы чувствительных структур, ответственных за поддержание гомеостаза (клеточная мембрана, цепи метаболического обмена, генетический аппарат) с

быстрым, объективным и количественным характером отклика целостной системы на интегральное воздействие ксенобиотиков. Объективный характер отклика обеспечивается тем, что люминесцентные бактерии содержат особую люциферазу, осуществляющую эффективную трансформацию энергии химических связей жизненно важных метаболитов в световой сигнал на уровне, доступном для экспрессных и количественных измерений. Отклик люминесцентных бактерий на токсические вещества достоверно коррелирует с таковым у других биологических организмов, а величина 50% тушения свечения (EC50) достоверно коррелирует с величиной 50% летальной дозы (LD50) для человека.

Для целей биодиагностики используют обычно специальные люминесцентные реагенты (биосенсоры) приготовленные на основе живых культур светящихся организмов или на основе выделенных люциферин-люциферазных комплексов. Интенсивность свечения измеряется специальными приборами люминометрами. Введение в реакционную смесь пробы с токсическим соединением вызывает спад свечения (рис. 4).

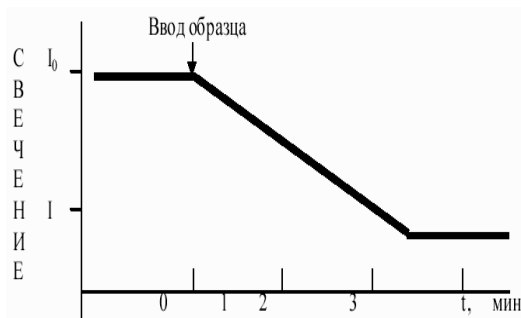


Рис. 4.

Уровень тушения биолюминесценции пропорционален концентрации токсических веществ. Специальная светорегистрирующая аппаратура позволяет измерять интенсивность свечения реагента до и после введения неизвестного токсиканта в образце небольшого объема (0,2–0,5 мл). Время анализа, который можно проводить в полевых условиях, обычно не превышает нескольких минут.

Биосенсор интегрирует эффекты смесей токсикантов, обеспечивая определение общего индекса токсичности образца. Методы биолюминесценции предпочтительны в качестве первичных тестов и способны быстро ответить на вопрос: присутствуют или нет в среде токсические агенты в концентрации, опасной для человека и других живых организмов. Если промышленное предприятие выбрасывает во внешнюю среду преимущественно один тип токсического вещества, ответ биосенсора позволяет судить о концентрации данного соединения, и тогда отпадает необходимость в дополнительных методах анализа. Биолюминесцентные методы обладают хорошей чувствительностью к разнообразным химическим соединениям, характерным для промышленных сбросов, загрязнений почвы, воды, воздуха (тяжелые металлы, фенолы, формальдегид, пестициды и т. д.).

Фотосинтетическая активность

Первичная продукция, характеризующая исходный уровень биологической продуктивности, а соответственно, и дальнейшее продвижение вещества и энергии по пищевым цепям, в подавляющем большинстве экосистем образуется за счет фотосинтеза. Фотосинтез – это образование клетками высших растений, водорослей и некоторыми бактериями органических веществ из неорганических с использованием энергии света и при участии пигментов: хлорофиллов, бактериохлорофиллов и некоторых других. Интенсивность и характер фотосинтетической активности является важнейшим показателем физиологического состояния растений. Одним из способов оценки интенсивности процессов

фотосинтеза служит компьютеризованная флуориметрия, основанная на измерении интенсивности люминесценции хлорофилла. Флуоресценция (слабое свечение) возникает при электронном возбуждении молекул, поглощающих УФ-свет и испускающих затем квант света (через 10^{-8} – 10^{-9} сек). Организмы, содержащие хлорофилл, излучают преимущественно в полосе 690 нм. При флуориметрии фактически оценивается интенсивность электронного транспорта через мембраны. Эта оценка адекватна показателям общего состояния фотосинтетической системы растений. Фотосинтетическую активность оценивают по изменению интенсивности флуоресценции хлорофилла при переходе фотосинтетического аппарата из активного состояния в неактивное. На примере водорослей показана корреляция параметра переменной флуоресценции с фотосинтетической продукцией клеток фитопланктона, определенной по скорости выделения кислорода или по фиксации CO_2 .

Флуоресцентный метод контроля широко используют не только для определения фотосинтетической активности. Так, при анализе сточных вод, без предварительной подготовки пробы и без выделения индивидуальных органических соединений, он позволяет определить суммарное количество органических веществ в воде по величине интегральной флуоресценции в области 390–560 нм. Флуоресцентный метод также используют при определении содержания нефтепродуктов в водной среде. Нефтепродукты характеризуются широкой полосой испускания в области 460–480 нм. Предел обнаружения нефтепродуктов этим методом – 10–6%. На базе флуоресцентных методов в сочетании с лазерной оптикой разработаны приборы для дистанционного контроля состояния экосистем и содержания в них отдельных загрязняющих веществ. Эти методы наряду с другими используются в космическом мониторинге.

Генетические методы

Анализ генетических изменений может быть использован для оценки состояния среды. Появление таких изменений характеризует мутагенную активность среды, а возможность их сохранения в клеточных популяциях отражает эффективность иммунной системы организма.

В нормальных условиях большая часть генетических аномалий удаляется из популяции посредством иммунной системы организмов. Наличие таких аномалий можно использовать в качестве индикатора стресса, ведущего к продукции аномальных клеток и снижению способности иммунной системы организма их уничтожать. В качестве генетических изменений в соматических клетках обычно рассматривают различные структурные изменения хромосом, а также аномалии в количестве хромосом (анеуплоидию) и появление устойчивых анеуплоидных клонов.

Биоэнергетические методы

Обнаружить снижение качества среды, пока загрязнения не оказали необратимого повреждающего воздействия на организм, позволяет биоэнергетический подход.

Биоэнергетические методы основаны на том, что любой физиологический процесс требует затрат энергии. Количество энергии, затрачиваемой организмами на все физиологические процессы в единицу времени, является отражением интенсивности энергетического метаболизма, которая может быть измерена методом респирометрии. Такие анализы позволяют установить ранние изменения в физиологическом гомеостазе. Количество энергии, расходуемой на процессы роста особи в стрессовых условиях, всегда выше, чем в оптимальных, из-за дополнительных затрат энергии на компенсацию таких воздействий. Таким образом, количество энергии, расходуемой во время роста, является характеристикой качества среды.

Иммунологические методы

В последнее время иммунологические методы нашли широкое применение во многих фундаментальных и прикладных науках. Традиционно иммунологические методы применяются в клинко-диагностических исследованиях при различных патологиях человека. Однако современные научные данные свидетельствуют о том, что у всех исследованных организмов от человека до низших беспозвоночных животных иммунологические реакции во многом сходны. При изменении условий среды обитания, возникновении заболеваний или антигенного воздействия наблюдаются достоверные изменения в составе и численности иммунокомпетентных клеток (спленцитов, макрофагоподобных клеток и др.) и, как следствие, появление в полостных жидкостях цитотоксических белков и антимикробных пептидов. Подробные описания современных иммунологических методов исследований приведены в учебном пособии.

Ниже даны краткие описания наиболее типичных иммунологических методов.

Морфологические методы

Морфологические изменения, как правило, сопутствуют достаточно длительному воздействию загрязнителей на экосистемы и наблюдаются, в первую очередь, у организмов, наиболее чувствительных к данному виду загрязняющих веществ (биоиндикация радиоактивных загрязнений).

Патологоанатомические и гистологические методы

Токсикологические методы

Токсикологические методы подразумевают оценку токсичных свойств веществ с использованием модельных живых систем. Оценка токсичности производится в лабораторных условиях для целей нормирования, токсикологического контроля, анализа общих закономерностей действий токсических веществ и т. п. Конечной целью токсикологического контроля является определение действия токсических веществ на популяции и целые экосистемы, хотя при этом отдельные особи, используемые в токсикологических исследованиях, представляют собой, естественно, лишь элементы экосистем. Поэтому общим показателям роста, выживаемости, плодовитости и качества потомства в таких исследованиях отводится роль основных. В качестве тест-систем используют обычно культуры водных организмов: ракообразных (дафнии), водорослей или бактерий. Эти методы не требуют сложного оборудования, могут быть стандартизованы, но они достаточно продолжительны (до нескольких недель). В последнее время при сохранении определяющей роли основных показателей все чаще при токсикологических исследованиях применяют показатели тонких нарушений в клетках и тканях, получаемые различными биохимическими, биофизическими и другими методами исследования.

Эмбриологические методы

Эмбриологические методы диагностики базируются на том обстоятельстве, что наиболее уязвимыми к воздействию внешних факторов являются ранние стадии развития многоклеточных организмов. На стадии дробления и на стадии формирования зародышевых органов и тканей даже незначительные воздействия, как правило, приводят к видимым уродствам на более поздних стадиях или даже гибели зародышей. В качестве тест-объектов обычно используют быстро развивающихся и дающих многочисленное потомство животных (рыбы, моллюски, земноводные, насекомые). При выборе объекта учитывают легкость культивирования.

Эмбриологические методы могут служить очень тонким индикатором для диагностики, в том числе и для количественных оценок состояния среды.

Паразитологические методы

Биоразнообразие симбионтов (паразитов, комменсалов, мутуалистов), как правило, значительно превышает разнообразие их хозяев. Так, на Большом Барьерном рифе водится около 2000 видов рыб, а их паразитофауна представлена более чем 20 000 видов; три вида австралийских промысловых креветок в качестве симбионтов имеют 38 видов организмов из разных систематических групп. Помимо уточнения оценки биоразнообразия по числу видов, учет симбионтов позволяет получать достоверную информацию о качестве среды, так как степень интенсивности инвазии (относительное количество хозяев, имеющих симбионтов) и экстенсивность инвазии (среднее количество симбионтов на хозяине) напрямую зависят от условий, в которых находится популяция хозяев. Многие симбионты более чувствительны к изменениям внешней среды, в частности симбионты водных организмов – к загрязнению и опреснению, а симбионты наземных организмов – к радионуклидам. При оценке разнообразия фауны симбионтов и паразитофауны, в частности, широко используют статистические методы]. Учет симбиотических, в том числе и паразитических, организмов значительно увеличивает достоверность оценок биоразнообразия, позволяет более точно оценить характер динамических процессов в экосистемах и может быть рекомендован в качестве обязательной части исследования биоразнообразия.

Популяционные и экосистемные методы

Для целей диагностики и мониторинга среды обитания, в качестве популяционных и экосистемных методов, определяют такие показатели, как численность и биомасса отдельных видов, возраст-ной и половой состав популяций, пространственное размещение отдельных компонентов биологических сообществ, видовой состав и видовое разнообразие сообществ. Иногда ограничиваются определением соотношения численностей или биомасс различных таксономически или функционально близких групп видов в сообществах (например, отношение суммарной численности планктонных ракообразных к численности коловраток, соотношение обилия беспозвоночных хищников и детритофагов в почве).

При анализе численности, биомассы, возрастного и полового состава, а также пространственного размещения для целей биодиагностики и мониторинга часто используют виды, чувствительные к воздействию – виды-биоиндикаторы. Показатели, получаемые в результате обследования нарушенных или загрязненных территорий, сравнивают с эталонными для данных видов, полученными на чистых и ненарушенных (заповедных) территориях. При анализе широко используются стандартные статистические методы. Надо отметить, что для получения более достоверных долгосрочных прогнозов необходимо наряду с видами-индикаторами отслеживать и изменения, происходящие в популяциях устойчивых видов, способных выдерживать различные дозы воздействий в течение длительного времени. Показатели структуры сообществ, применяемые для целей биодиагностики и рассматриваемые ниже, имеют перед популяционными ряд преимуществ. Эти преимущества связаны, прежде всего, с возможностями получения быстрой и достаточно точной интегральной оценки «здоровья» среды, а также с возможностью, в ряде случаев, диагностировать причины изменений, происходящих в экосистемах.

В качестве критериев оценки экологического состояния популяций и биоценозов выступают структурные и функциональные показатели, характеризующие состояние растительности и животного населения.

Среди них выделяются:

- изменение видового состава фито-и зооценозов;
- уменьшение разнообразия видов в биоценозах;
- сокращение площади коренных ассоциаций;
- изменение плотности (численности) популяций видов-индикаторов;
- уменьшение проективного покрытия и продуктивности растительности и др.

Оценка разнообразия видов

К индексам, учитывающим оба компонента ВР – как число видов, так и характер их распределения по обилию (выравненность), относятся индекс Симпсона и индекс Шеннона – Уивера:

Индекс Симпсона

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_i^2}, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1$$

где P_i – обилие вида - доля каждого вида в изобилии, взятом за единицу (нормированном к единице). Оценка может производиться по тем характерным группам растений или животных, по которым имеется достаточно надежная информация.

Индекс Шеннона

$$H = -\sum_i^n \left\{ \frac{P_i}{P} * \log_2 \left(\frac{P_i}{P} \right) \right\} \quad (2)$$

где P_i – обилие i -го вида; P – суммарное обилие всех видов.

Индекс Симпсона более чувствителен к изменению обилия самых массовых видов, индекс Шеннона – напротив, к изменениям в обилии редких видов. Поэтому первый предпочтительнее, если исследователя, в первую очередь, интересует характеристика сообщества по доминирующей группе видов. Поэтому его относят к числу так называемых индексов доминирования. Среди последних, по-видимому, практически наиболее удобен обратный индекс Бергера – Паркера, который представляет собой отношение суммарного обилия видов в сообществе к обилию наиболее многочисленного вида:

$$I_{BP} = \frac{P}{P_{\max}} \quad (3)$$

Таблица 3

Критерии экологической оценки состояния растительности и животного населения

Показатели	Норма	ЭР	ЭК	ЭБ
Разнообразие видов растений и животных (уменьшение критерия Симпсона, %)	<10	10-20	20-50	>50
Плотность популяции вида – биоиндикатора, % от исходной	<10	10-20	20-50	>50
Относительная плотность коренных ассоциаций, %	>60	40-60	20-40	<10
Повреждение древостоев техногенными выбросами, % от общей площади	<5	5-30	30-50	>50
Проективное покрытие степной пастбищной растительности, % от нормального	>80	60-70	20-50	<10
Продуктивность пастбищной растительности, % от потенциальной	>80	60-70	10-30	<5
Уменьшение численности охотничье-промысловых видов животных, число раз от нормального	<2	2-3	3-10	>10
Биомасса почвенной мезофауны, % от нормальной	>90	60-80	30-50	<30

Моделирование переноса примесей в атмосфере

Антропогенное воздействие примеси на окружающую среду оценивается определением реального вклада в поле загрязнения от отдельных источников выброса с учетом влияния метеорологических параметров и миграции веществ из атмосферы на подстилающую поверхность.

Исследование процесса распространения примесей в пространстве основывается на изучении, главным образом, трех аспектов:

- анализа источника загрязнения;
- анализа физики процесса переноса с учетом химических реакций и преобразований, происходящих в атмосфере, наличия искусственных и естественных препятствий, рельефа местности, метеорологических условий;
- анализа воздействия на окружающую среду по соотношению к ПДК.

Выбросы вредных веществ, содержащихся в отходящих газах промышленных предприятий, осуществляются через дымовые трубы в верхние слои атмосферы (в любом случае за пределы приземного слоя) и рассеиваются там.

Эффективность рассеивания зависит, прежде всего, от высоты трубы Y_0 (достигает 300 м и более) и от высоты подъема H дымовых газов над устьем трубы.

Высота подъема обеспечивается движением вверх со скоростью v_0 , а также всплыванием теплых газов, выпускаемых в более холодный воздух. На эту высоту заметное влияние оказывает горизонтальное движение ветра, уменьшающее действие и вертикальной скорости, и архимедовой силы (рис. 1).

Вредные вещества, содержащиеся в выбросе, распространяются по направлению ветра в пределах сектора, ограниченного углом раскрытия факела вблизи выхода из трубы в $10-20^\circ$. Если принять этот угол постоянным независимо от расстояния, площадь поперечного сечения факела возрастает пропорционально квадрату расстояния ($S \sim x^2$), а концентрация падает пропорционально квадрату расстояния ($C \sim x^{-2}$).

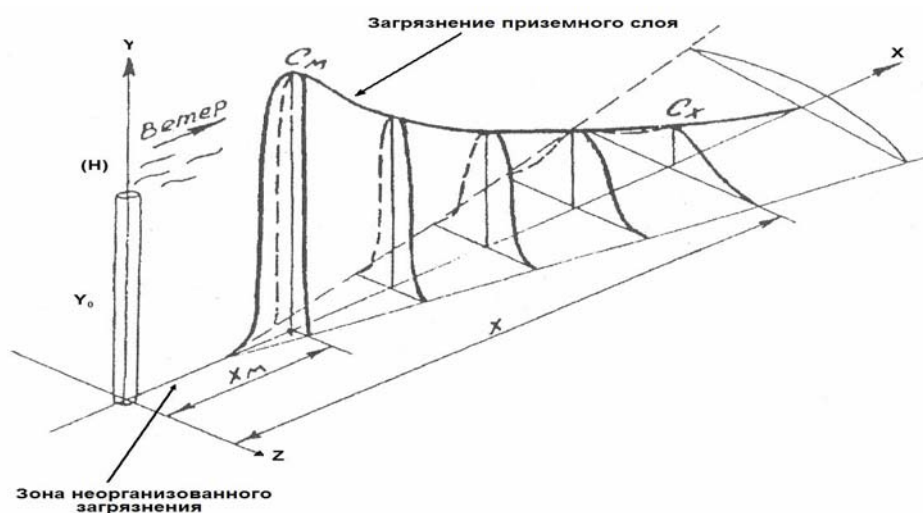


Рис. 1. Аксонометрическая схема изменения приземной концентрации вредных веществ при дымовых выбросах из труб промышленных предприятий

При построении картины рассеивания вредных компонентов дымовых газов следует иметь в виду, что наибольший практический интерес представляет распределение их концентрации в приземном слое – 2-метровом слое обитания людей.

Зона неорганизованного загрязнения – образуется в непосредственной близости от источника загрязнения (трубы) за счет неплотностей в газовых трактах, загрязнения площадок для перевалки сырья, складских отходов и т.д.

Факторы, влияющие на распространение вредных веществ при промышленных выбросах в атмосферу:

- высота трубы и особенности производства;
- метеорологические и климатические факторы: скорость ветра, температурная стратификация, температура окружающего воздуха (сезон). Особенно важно проявление этих факторов в нижнем слое 50-250 м;
- рельеф местности.

Ветер

В штиль или при малых скоростях ветра дымовой факел поднимается на большую высоту и не попадает в приземный слой. При больших скоростях ветра загрязняющие вещества дымового факела активно перемешиваются с большим объемом воздуха и при достижении приземного слоя не имеют опасной концентрации.

Опасная скорость ветра U_m – соответствует максимальной концентрации C_m опасных веществ в приземном слое на расстоянии x_m от трубы высотой Y_0 (H).

Сравнение величины и направления опасного ветра с розой ветров в данной местности по данным климатических измерений позволяет определить зону фактического влияния промышленных предприятий на окружающую местность. Направление ветра определяют в румбах: $1 \text{ румб} = 1/100 \text{ части окружности}$.

Температурная стратификация

В обычной дневной атмосфере температура падает с высотой ($0,6^\circ\text{C}$ на 100 м подъема).

Инверсия температуры

- ночью – суша быстро охлаждается и температурный градиент направлен вниз. Ухудшается всплывание теплых объемов за счет архимедовой силы и перемешивание слоев приземного воздуха за счет конвекции. Результат: дым прижимается к земле;
- в антициклоне – нижние слои воздуха прижимаются к земле;
- в морозную погоду – интенсивная инверсия.

В результате совокупное действие температурного градиента в атмосфере и дымовом шлейфе приводит к различным видам подобных шлейфов (рис. 2).

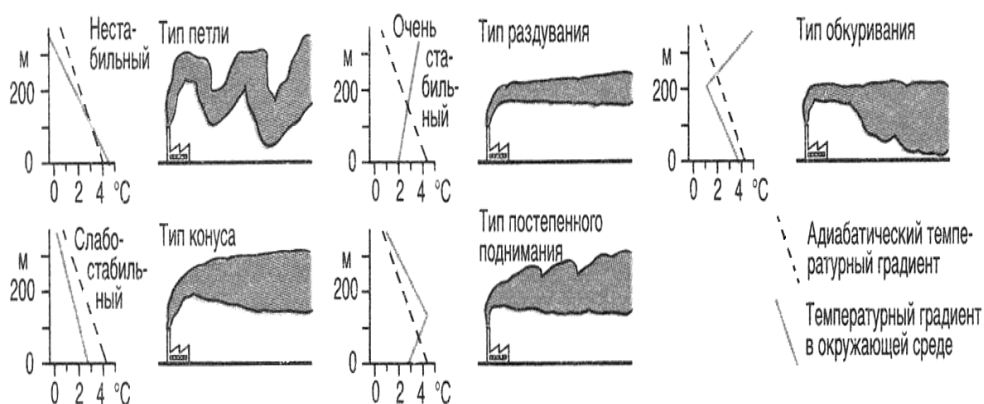


Рис. 2. *Ход вертикальных температур в шлейфах дыма*

Коэффициент A температурной стратификации отражает региональные неблагоприятные условия вертикального и горизонтального перемешивания примесей, которые поступают в атмосферу с дымовыми газами. Коэффициент A зонирован по территории РФ Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова. Для центральной части европейской территории РФ коэффициент $A=120$, для северной и северо-западной части, Среднего Поволжья, Урала $A=160$, Сибири и Дальнего Востока $A=200$.

Опасная скорость ветра в сочетании с неустойчивой температурной стратификацией и интенсивным переносом примесей сверху вниз образуют совокупность неблагоприятных метеорологических условий, при которых наблюдаются максимальные значения приземной концентрации вредных веществ C_m .

Температура T окружающего воздуха

Чем выше T , тем в меньшей степени проявляется эффект всплывания дымовых газов. Поэтому расчеты приземных концентраций проводятся при средней максимальной температуре наиболее жаркого месяца года в данной местности по данным климатических наблюдений.

Рельеф местности

Может существенно изменять микроклимат в отдельных районах, а также характер рассеивания вредных веществ. Например, повышенная концентрация вредных веществ наблюдается с наветренной стороны холмов, где образуются зоны пониженных давлений и встречное движение (по отношению к основному потоку) воздуха. Коэффициент рельефа местности η в случае ровной или слабо пересеченной местности близок к 1.

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества при дымовом выбросе из одиночного источника определяется как

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2(V\Delta T)^{1/3}},$$

где A – характеризует неблагоприятные конвективные условия, скорость ветра, неблагоприятную для рассеивания выбросов данного источника, приподнятые инверсии непосредственно над источником выбросов, штилевые зоны и туманы; M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; V – объем выбросных газов, м³/с; F – коэффициент скорости оседания вредных веществ в атмосферном воздухе (для газообразных веществ и аэрозолей со скоростью упорядоченного оседания близкой к нулю, принимается равным 1, для летучей золы при отсутствии очистки – 2...3); m и n – безразмерные коэффициенты, отражающие гидродинамические условия выхода газовой смеси из дымовой трубы, зависящие от стратификации и других факторов состояния атмосферы; ΔT – разность температур примеси и окружающего воздуха.

Высота выброса H представляет собой сумму высоты трубы и начального подъема примеси ΔH (определяется скоростью выхода примеси V , перегревом ΔT и радиусом устья трубы R_0):

$$H = Y_0 + \Delta H.$$

Приземная концентрация вредных веществ C_m при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимальных значений на оси факела выброса (по направлению ветра) на расстоянии x_m от источника выброса

$$x_m = d * H,$$

где d определяется расходом газовой смеси на выходе из трубы.

Опасная скорость ветра U_m , при которой имеет место наибольшее значение C_m , также определяется величиной расхода смеси.

Нормирование выбросов в атмосферу

Нормативы $ПДВ$ устанавливаются на основании расчета приземных концентраций (то есть расчета C_m – максимальной приземной концентрации при неблагоприятных метеорологических условиях, в том числе, при опасной скорости ветра) и сопоставления результатов расчета с предельно допустимыми концентрациями. Величина $ПДВ$ определяется в виде массы выбросов в единицу времени.

Для одиночного источника с круглым устьем

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_\phi) * H^2}{AFmn\eta} * (V\Delta T)^{1/3},$$

где C_ϕ – фоновая концентрация, характеризующая загрязнение атмосферы в населенном пункте, создаваемое другими источниками, исключая данный. Может выбираться равной $1/3ПДК$.

При этом концентрация вредного вещества в выбросах около устья источника не должна превышать величины

$$C_m = \frac{ПДВ}{V}.$$

Таким образом, значение $ПДВ$ и максимальная концентрация C_m определяются в направлении движения ветра.

Поперечное рассеяние примесей

Оценка влияния метеорологических условий на содержание примеси в атмосфере в стороне от основного направления ветра осуществляется физико-статистическими методами. Связь между уровнем загрязнения и метеорологическими условиями очень сложная и учитывается комплексными параметрами.

Сочетание метеорологических факторов, обуславливающего уровень возможного загрязнения атмосферы (при фиксированных выбросах), называется *потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА)*. Существуют метеорологический (используется в ежедневных метеорологических прогнозах) и климатический (оценка климатических условий переноса и рассеивания примеси в определенном физико-географическом районе) ПЗА.

Средняя концентрация с учетом розы ветров и неблагоприятных метеоусловий определяется как

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m C_{mij} * P_j,$$

где n – число исследуемых направлений ветра, P_i – нормированная повторяемость i – го направления ветра, m – число источников загрязнения, C_{mij} – максимальная концентрация от j -го источника при i – м направлении ветра и в общем случае имеет экспоненциальный характер.

В природной среде вредные вещества подвергаются преобразованию и нейтрализации, но могут создавать и новые более токсичные вещества.

Удаление вредных веществ из атмосферы осуществляется за счет химических реакций, гравитационного осаждения, химической и физической сорбции поверхностью Земли (сухое осаждение q_c), вымывания осадками (мокрое осаждение q_m). Эти процессы представляются уравнением

$$q_i = \bar{q}P_i = q_0 + q_c + q_m.$$

Сухое поглощение. При описании поглощения примеси в виде частиц дыма используется предположение, что скорость поглощения единицей поверхности пропорциональна концентрации газа или частиц над поглощающей поверхностью и характеризуется *сопротивлением переноса*.

Перенос в свободной атмосфере осуществляется турбулентной диффузией – первая фаза. Во второй фазе в пределах тонкого слоя перемещение воздуха носит ламинарный характер, и линии тока воздуха практически параллельны поверхности. Толщина такого

слоя определяется физическими характеристиками поверхности и скоростью воздуха за пределами ламинарного слоя.

Наибольшее сопротивление поглощению оказывает сухой снег, влажная листва.

Для крупных регионов изменение концентрации газов в воздушной массе при переносе над подстилающей поверхностью за счет сухого поглощения описывается уравнением

$$C(\tau) = C_0 e^{-k\tau},$$

где C_0 и C – концентрация частиц в атмосфере в начальный момент и момент времени τ , k – коэффициент поглощения.

Мокрое осаждение разделяется на две стадии. На первой стадии вымываемое вещество либо участвует в образовании облачной капли, служа ядром конденсации, либо захватывается каплями облака на том этапе их развития, когда они еще не превратились в падающие дождевые капли. Эта стадия определяется как внутриоблачное вымывание. На второй стадии вещество захватывается падающей каплей дождя на всем пути полета до контакта с подстилающей поверхностью. Это стадия подоблачного вымывания.

Существует пять механизмов, благодаря которым частица дыма может попасть в каплю:

- 1) диффузиофорез – общий вклад в вымывание невелик;
- 2) броуновская диффузия – основной механизм перемещения частиц к поверхности капли;
- 3) соударение и захват – заметен при размерах частиц более 1 мкм;
- 4) растворение газа;
- 5) образование капель на ядрах конденсации.

Количество примеси, вымываемое атмосферными осадками, определяется интенсивностью осадков и их продолжительностью, высотой подоблачного слоя, высотой слоя осадков, концентрацией оксидов азота в воздухе подоблачного слоя.

Оценив способность атмосферы к самоочищению за счет сухого и мокрого осаждения примеси, можно определить расчетную концентрацию примеси в воздухе.

По результатам расчетов в итоге определяется расчетная санитарно-защитная зона предприятия в виде границы ПДК с учетом основных направлений ветра в данной местности.

Модели переноса радионуклидов в атмосфере

Формирование источников или очагов радиоактивного заражения, обусловлено последовательными процессами:

- образованием радиоактивных аэрозолей и распределением радиоактивных продуктов по их размерам и массам;
- распределением образовавшихся радиоактивных аэрозолей по объему источника в соответствии с закономерностями его формирования;
- переносом и рассеиванием радиоактивных аэрозолей в воздушной среде, водах, на земной поверхности, в помещениях и т.д.

Под *источником радиоактивного заражения* подразумевается область пространства, в которой находятся инжесктированные радиоактивные продукты, т.е. выбросы из ЯЭУ. В дальнейшем под действием атмосферных факторов источник деформируется, меняется его форма и размеры, а так же распадается на множество других менее мощных источников.

Источники выброса подразделяются в зависимости от их продолжительности и пространственной конфигурации.

Продолжительность

- *мгновенный* выброс по продолжительности настолько мал, что может рассматриваться как точечный источник определенной мощности;

- *кратковременный* выброс характеризуется продолжительностью, сравнимой со временем движения радиоактивного облака до рецептора, облако принимает форму струи; при этом метеоусловия таковы, что за время выброса их влияние практически не учитывается.
- *непрерывный* выброс протекает в течение времени, за которое из-за ветра формируется азимутальное распределение в соответствии с розой ветров.

Пространственная конфигурация

- *точечные, объемные, линейные* и др.

Размеры диспергированных частиц составили от единицы до десятков микрометров, медианное значение распределения составляет 58 мкм и около 25% активности выброса приходится на крупные частицы.

Аэрозоли

по размерам

- грубодисперсные (диаметр $0,5 \div 10$ мкм), коллоидные (диаметр $(5 \div 500)$ нм) и аналитической дисперсности (диаметр $1 \div 5$ нм);

по форме

- изометрические частицы (шар, куб), ламинарные (пластина), фибропластинчатые (нити).

Основным уравнением стабильности частицы в атмосфере является равенство ее веса и архимедовой силы

Распространение выбросов в атмосфере происходит по механизмам турбулентной диффузии и конвективного (ветрового) переноса.

Турбулентность атмосферы характеризуется крупно- и мелкомасштабными пульсациями ее параметров – плотности, давления, температуры, скорости, возникновением вихрей, переносом значительных воздушных масс в горизонтальном и вертикальном направлениях. В эти процессы вовлекаются выбросы, и при их проникновении из тропосферы в стратосферу радиоактивное заражение может принимать глобальный характер.

Характер распространения выбросов в атмосфере в значительной степени зависит от скорости ветра и распределения температуры в вертикальном направлении (по высоте), что, в свою очередь, определяется температурой воздушной массы, поверхности Земли, тепловыми потоками солнечной радиации, влажностью воздуха, облачностью, степенью загрязнения воздуха и т.д.

Классификация погодных условий по Пасквиллу

- A. предельно неустойчивая;
- B. умеренно неустойчивая;
- C. слегка неустойчивая;
- D. нейтральная;
- E. слегка устойчивая;
- F. умеренно устойчивая.

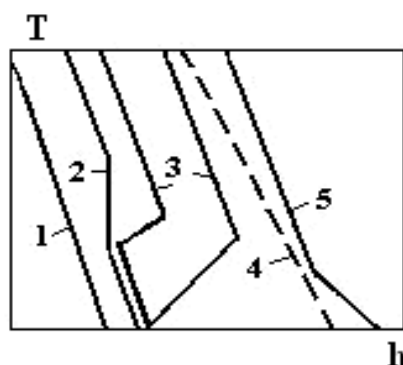


Рис. 1. Типичные примеры вертикального

профиля температуры вблизи Земли:

- 1 – стандартный градиент температуры $0,65^{\circ}$ на 100 м;*
- 2 – изотермический градиент, средний участок ломаной;*
- 3 – температурная инверсия; 4 – сухоадиабатический градиент;*
- 5 – сверхадиабатический градиент*

Для сухоадиабатического градиента температуры справедливо уравнение состояния сухого воздуха в вертикальном направлении с понижением температуры на 1°C на 100 м уменьшения высоты. В этом случае на рассматриваемый объем воздуха не действует выталкивающая сила (сила Архимеда, или плавучести), т.к. температура объема адиабатически следует изменению температуры, так что имеет место **квазиравновесие температуры воздуха и рассматриваемого объема**.

Для неадиабатического распределения температуры и отрицательного градиента температуры из-за возрастающей по высоте разности температур облака и окружающей атмосферы объем облака увеличивается, плотность падает, подъем облака ускоряется, т.к. выталкивающая сила при этом направлена в направлении подъема облака. Если плотность воздуха в облаке выше плотности атмосферы, облако будет опускаться с возрастающей скоростью и возрастающей плотностью. **Такие атмосферные условия являются неустойчивыми**, они приводят к усилению турбулентности в атмосфере и размыванию радиоактивного облака выброса.

При градиенте температуры (по абсолютной величине) меньше, но близкого к сухоадиабатическому, воздух, перемещающийся вверх, имеет температуру ниже, чем в окружающей среде, подъемная сила уравнивает гравитационную силу, турбулентность при этом ослабляется, размывание радиоактивного облака заметно снижается. **Атмосферные условия такого случая являются устойчивыми**. Условия между устойчивой и неустойчивой атмосферой называют нейтральными.

Возникновение ветра сопровождается появлением значительных сил вязкости (трения) в поверхностном слое воздуха и способствует развитию так называемой механической турбулентности, которая заметно ослабляется в вертикальном направлении при устойчивых условиях атмосферы; неустойчивые условия, наоборот, способствуют ее развитию.

Механические перемешивания деформируют вертикальный профиль температуры, и при сильном ветре вблизи поверхности Земли устанавливается близкий к адиабатическому температурный градиент. Устойчивые условия способствуют развитию приподнятой инверсии при механической турбулентности. Слабый ветер способствует появлению однородного профиля температуры.

Рассеивание облака выброса сопровождается:

- сухим осадждением или гравитационным оседанием (для частиц, диаметром больше 10 мкм);
- отложением аэрозолей и адсорбцией паров на предметах по направлению распространения ветра;
- влажным оседанием, когда пары или аэрозоли проникают в капли дождя или в снежинки и далее выпадают в виде осадков; возможно и выпадение паров и аэрозолей в слоях ниже дождевых облаков и т.д.;
- радиоактивным распадом исходных радионуклидов и накоплением дочерних продуктов распада.

Для описания процессов распространения радиоактивных продуктов в атмосфере используется модель атмосферной диффузии, основанная на дифференциальных уравнениях в частных производных переноса активности в воздухе.

В качестве простейшей математической модели, описывающей распространение радиоактивных выбросов в виде облака, рассматривается так называемая турбулентная диффузионная модель, в основу которой положены представления о наличии пульсаций

всех параметров облака (плотности, температуры, давления, скорости) и усреднения тех же параметров во временных интервалах пульсаций. При этом масштабы турбулентности, как величины, характеризующие средние длины переноса элементарных объемов облака, оказываются аналогами средних длин пробега молекул в классической диффузионной теории. По аналогии с этим вводятся и турбулентные коэффициенты диффузии, а переносимым параметром по диффузионному механизму является активность облака, представленная через объемную концентрацию активности A , Ки/м^3 . В таком случае объемная концентрация активности изменяется путем конвективного переноса облака ветром и диффузионным путем:

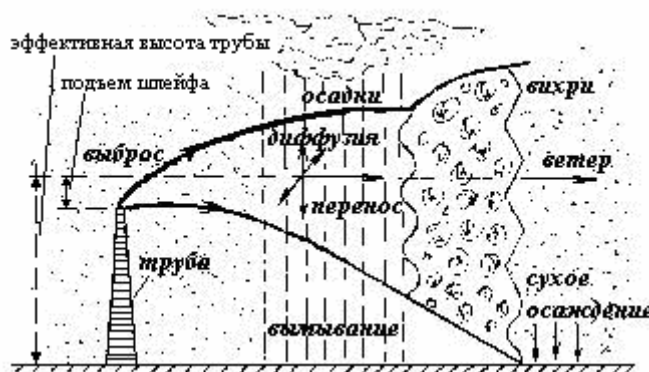


Рис. 2. Картина распространения выбросов

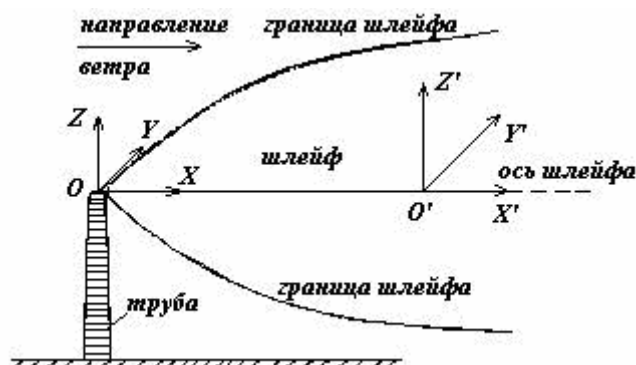
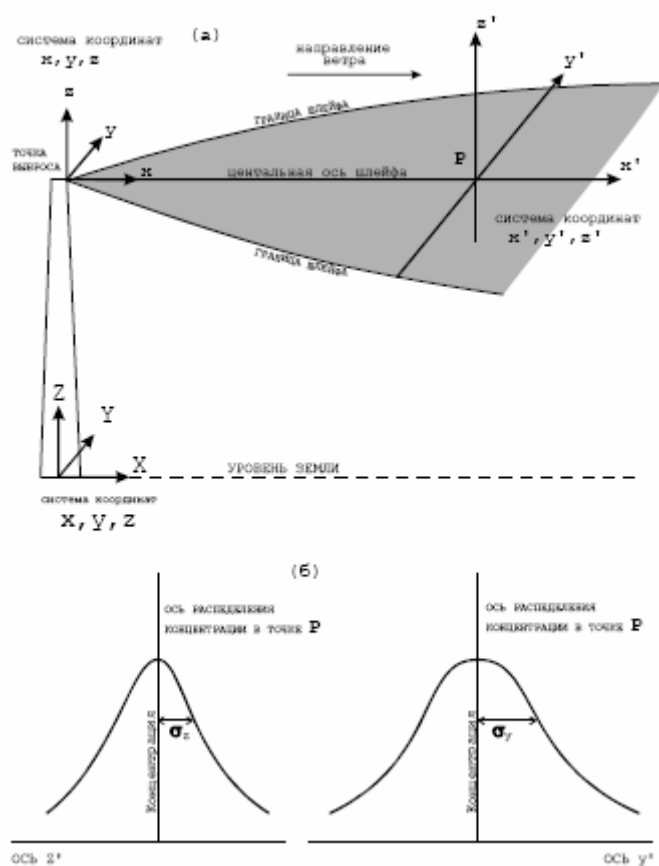
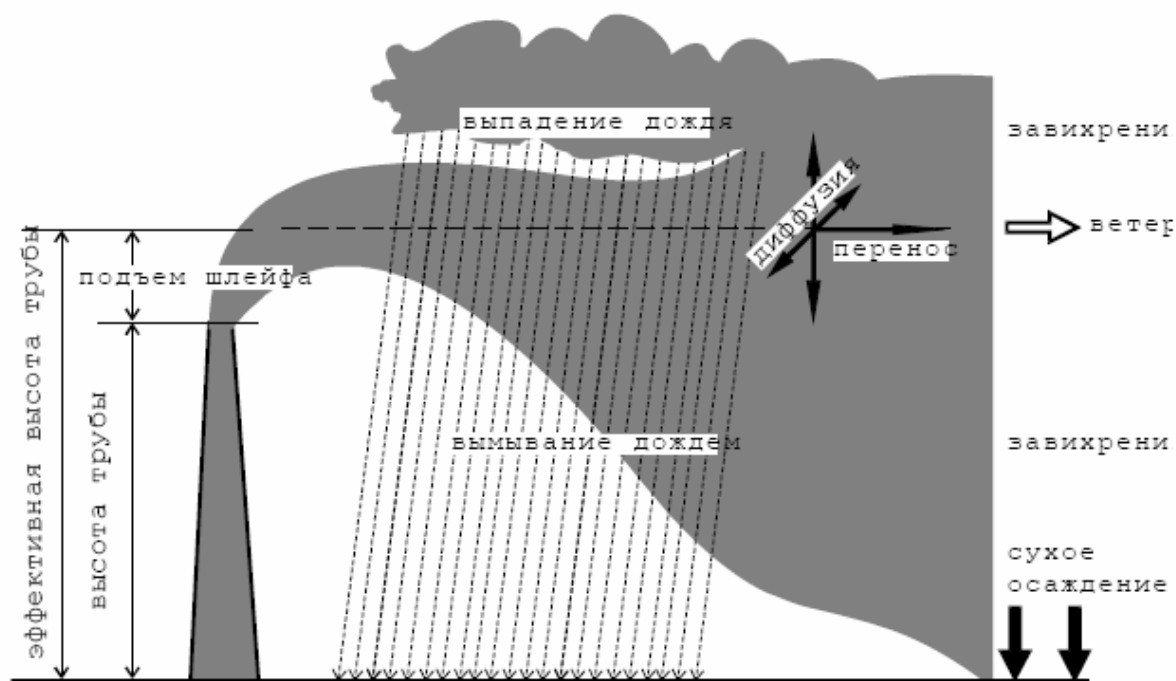


Рис. 3. Система координат для выбросов



Для расстояний до 10 км используют модель Паскуилла-Гиффорда, которая является также рабочей моделью Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). Поэтому мы начинаем обзор именно с этой наиболее часто используемой модели.

Модель распространения примесей в атмосфере, созданная Паскуиллом и Гиффордом, является эмпирической моделью. В ее основе лежит представление концентрации примеси, выбрасываемой непрерывным точечным источником в атмосфере, как струи с гауссовыми распределениями по вертикали и в поперечном к ветру направлении.

Выражения для активности A облака в точке с координатами x, y, z для конвективного переноса облака ветром и диффузионным путем и рассеивания примеси в гауссовом представлении записываются следующим образом

При мгновенном выбросе

$$A(x, y, z) = \frac{A_0 F(x)}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} * \exp\left[-\frac{(x - vt)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{(z - h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + h)^2}{2\sigma_z^2}\right].$$

При кратковременном выбросе

$$A(x, y, z) = \frac{A_0 F(x)}{2\pi \sigma_y \sigma_z v} * \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) * \left\{ \exp\left[-\frac{(z - h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

При непрерывном выбросе

$$A(x, z) = \frac{A_0 \eta}{(2\pi)^{3/2} x} * \sum_i \frac{\omega_i F_i(x)}{\sigma_{zi} v_i} * \left\{ \exp\left[-\frac{(z - h)^2}{2\sigma_{zi}^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + h)^2}{2\sigma_{zi}^2}\right] \right\}$$

Здесь

A – мощность в Бк для мгновенного и Бк/с – для кратковременного и непрерывного выброса;

$F(x), F_i(x)$ – функции истощения облака, учитывающие процессы радиоактивного распада и осаждения примеси;

x, y, z – координаты точки наблюдения, отсчитываемые от основания трубы, м;

v – скорость ветра в направлении оси x , м/с;

t – время после мгновенного выброса, с;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – дисперсии примесей в облаке выброса за счет диффузии в направлении осей, м;

h – эффективная высота выброса, м;

η – вытянутость розы ветров, $\eta = n/n_0$, где n – повторяемость направления ветра в заданном азимутальном секторе при реальной розе ветров, n_0 – то же при круглой розе ветров (равновероятном направлении ветра);

ω_i – повторяемость i -й категории устойчивости атмосферы за время выброса;

i – категория устойчивости атмосферы.

Эти формулы получены в предположении, что диффузионный поток через поверхность Земли равен нулю.

Моделирование

На рис. 5 показаны изолинии концентрации аэрозоля для точечного источника, полученные в аналитической модели для параметров среды $v=0,1$ м/с; $u=0$; $\sigma=0$; $\mu=20$ м²/с, интенсивность источника $Q=1$.

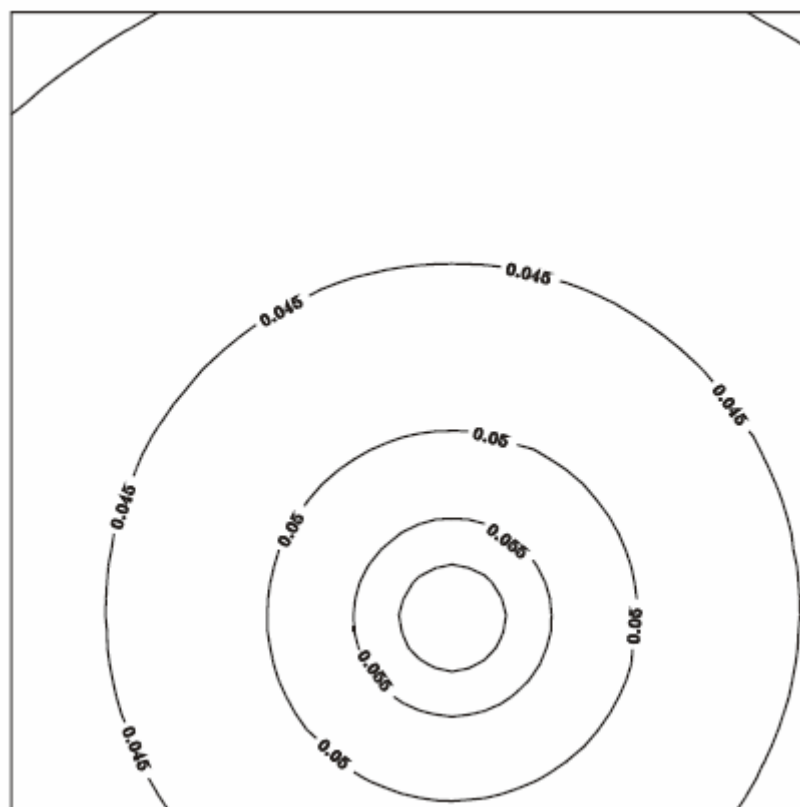


Рис. 5. *Распределение концентрации аэрозоля, выбрасываемого точечным источником.
Случай близкий к штилевой ситуации*

На рис. 6 показаны изолинии концентрации для точечного источника при $Q=1$; $1\mu=1$ м²/с, $\sigma=0$, $v=10$ м/с. Как видно из рис.6, наличие сильного ветра приводит к сносу выбросов по ветру довольно узкой полосой.

Из приведенных расчетов видно, что аналитическая модель хорошо описывает процесс распространения выбросов в атмосфере при постоянных коэффициентах переноса и может быть использована в качестве теста для проверки численных расчетов и для оперативного получения предварительной информации о распространении примеси.

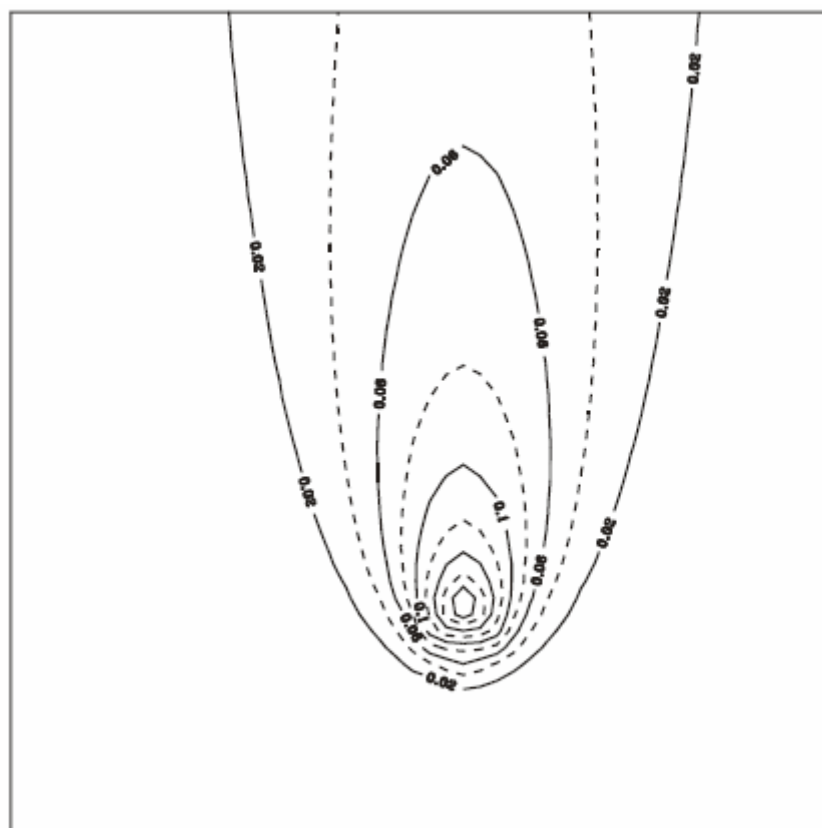


Рис. 6. Распределение концентрации аэрозоля, выбрасываемого точечным источником при скорости ветра 10 м/сек

Методика расчета предельно допустимых сбросов в поверхностные водоемы

1. Предельно допустимые нормативы качества воды

Существует два подхода к оценке качества воды: *водохозяйственный* и *экологический*.

Водохозяйственный подход оценивает качество воды, вовлекаемой в хозяйственный оборот водопользователями.

Основные категории водопользования:

1. жилищно-коммунальная, включающая хозяйственно-питьевую и культурно-бытовую (водоемы в черте города, вода для купания, спортивные нужды);
2. рыбохозяйственная;
3. промышленная;
4. сельскохозяйственная;
5. рекреационное использование прибрежных зон.

Наиболее строгие требования предъявляются к 1 и 2 категориям водопользования.

Основными показателями качества воды, нормирующими содержание вредных веществ являются (табл. 1):

- предельно допустимые концентрации ПДК;
- предельно допустимый сброс ПДС;
- лимитирующие показатели вредности ЛПВ.

Таблица 1

Лимитирующие показатели вредности

при установлении хозяйственной и рыболовной категорий водопользования

Показатели качества воды	ПДК по категориям пользования, мг/л	
	1 категория	2 категория
Физические		
1. Наличие на поверхности нефтяных, масляных и жировых пленок	Не допускается	Не допускается
2. Запах	не должен обнаруживаться	не должен обнаруживаться
3. Окраска не должна обнаруживаться в высоте столба воды, см	20	10
4. Температура, °С	20, летом	20, зимой
5. Содержание взвешенных частиц, мг/л	0,25	0,75
Химические		
6. рН среды	6,5-8,5	6,5-8,5
7. Минеральный состав, мг/л:		
анионы		
хлориды	300	350
сульфиды	100	500
нитраты	10	40
катионы		
аммоний NH^{4+}	0,5	-
Биологические		
8. Содержание растворенного кислорода, мг/л	6, зима	4, зима
9. БПК при 20°С, мг/л, не более	3	6

Главная цель нормирования качества воды – предотвращение ее вредного воздействия на человеческий организм, то есть на здоровье населения, качество окружающей среды.

Основная задача санитарной охраны водоемов – защита водоемов от возможных неблагоприятных последствий, однако, при этом не учитываются гибрионты.

Гибрионты – живые организмы водоемов – продуценты, консументы, редуценты. *Продуценты* в процессе фотосинтеза производят кислород, необходимый для окисления органики. *Консументы* (двустворчатые моллюски) отфильтровывают из воды различные механические примеси. *Редуценты* (бактерии) разлагают загрязняющие вещества на элементарные составные части.

Экологический подход заключается в неразрывной связи качества воды со структурой и функционированием водных биоценозов в процессах самоочищения водной толщи. Для оценки качества воды используют индикаторные организмы.

Под влиянием загрязняющих веществ происходит качественное и количественное изменения состава биоценозов: одни виды исчезают, другие развиваются в массовых количествах. Изменение видового состава происходит уже при слабом загрязнении воды, которое не может быть определено физико-химическим методом (следы присутствия).

В настоящее время выделяют 10 классов вод различной чистоты, которым соответствует биологический индекс. Чем выше биологический индекс, тем выше качество воды. Величина индекса зависит от видового разнообразия (например, речные раки покидают места обитания при превышении содержания загрязняющих веществ, которые практически неуловимы для гидрохимиков).

2. Расчет предельно допустимых сбросов в поверхностные водоемы

При сбросе сточных вод в речной водоток на концентрацию токсичных веществ и соответственно на уровень загрязнения оказывают существенное влияние гидрологические характеристики реки:

- глубина водотока;
- скорость течения;
- шероховатость поверхности русла;
- турбулентный обмен;
- место сброса сточных вод;
- расход сточных вод;
- температурные условия.

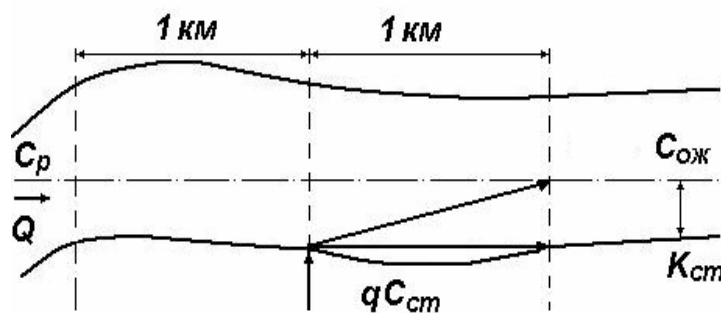


Рис. 1. Разбавление концентрации токсичных веществ при сбросе сточных вод ($K_{ст}$ – контрольный створ)

Концентрация токсичных веществ в природных водотоках распределяется с учетом этих условий:

$$qC_{ст} + \gamma QC_p = (q + \gamma Q)C_{к.ст.}, \quad (1)$$

где q – расход сточных вод ($\text{м}^3/\text{с}$), который часто принимается $q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$; Q – расход воды в водотоке ($\text{м}^3/\text{с}$); $C_{ст}$ – концентрация загрязнителя в сточных водах в месте спуска сточных вод ($\text{мг}/\text{дм}^3$); C_p – концентрация загрязнителя в реке выше места спуска сточных вод ($\text{мг}/\text{дм}^3$); $C_{к.ст.}$ – концентрация загрязнителя в контрольном створе ($\text{мг}/\text{дм}^3$); γ – коэффициент смешения сточных вод с водой водотока.

Величина $C_{ст}$ является контрольной величиной на период эксплуатации очистных сооружений и кладется в основу лимита – предельного количества загрязнения, допустимого для сброса в реку.

Величина q определяется хозяйственной и проектной организацией.

Величины Q и γ определяются проектной организацией на специальных гидрологических изысканиях или данных гидрометеорологической службы.

Как известно, расход воды в незарегулированных реках подвержен значительным сезонным колебаниям, связанным для равнинных рек с таянием снегов (весенних паводков), прекращением питания атмосферными водами (зимняя межень). Соответственно с изменениями расхода воды изменяется и скорость разбавления загрязненных струй воды рек. Следовательно, протяженность участка реки, в пределах которого происходит процесс разбавления, также изменяется (рис. 1).

Для решения задачи прогнозирования санитарного состояния водотока в контрольном створе необходимо решить уравнение (1) относительно $C_{к.ст.}$, получив ожидаемую концентрацию экотоксиканта в контрольном створе

$$C_{ож.} = \frac{qC_{см.} + \gamma Q C_p}{q + \gamma Q}. \quad (2)$$

Коэффициент смешения γ для сточных незарегулированных водотоков определяется как

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q} \beta}, \quad (3)$$

$$\beta = \exp(-\alpha * \sqrt[3]{L_\phi}), \quad (4)$$

где L_ϕ – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод в водоток до контрольного створа (м); α – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоток

$$\alpha = \xi * \varphi * \sqrt[3]{\frac{D}{q}}. \quad (5)$$

Здесь $\xi=1,0$ при выпуске сточных вод у берега, $\xi=1,5$ – при выпуске в стрежень;

φ – коэффициент извилистости реки, равный отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до контрольного створа к расстоянию между этими точками по прямой.

D – коэффициент турбулентной диффузии (м²/с), определяющийся для равнинных рек как

$$D = \frac{V_{ср.} H_{ср.}}{200}, \quad (6)$$

где $V_{ср.}$ – средняя скорость течения реки на участке между местом выпуска сточных вод и контрольным створом (м/с), $H_{ср.}$ – средняя глубина водоема на том же участке (м).

Возможное разбавление концентрации загрязняющих веществ при сбросе сточных вод в водоток в контрольном створе

$$n = \gamma * \frac{Q}{q}. \quad (7)$$

При поступлении в водные объекты нескольких веществ однонаправленного действия на живые организмы необходимо рассчитать по уравнению общий для них расход сточных вод

$$q = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1. \quad (8)$$

Расчет ПДС производится по наибольшим среднечасовым расходам сточных вод q (м³/час) фактического периода спуска сточных вод. ПДС (г/час) определяется для всех категорий водопользования по выражению

$$ПДС = qC_{см.}, \quad (9)$$

где $C_{см.}$ – концентрация загрязняющих веществ в сточных водах (мг/л).

Ламинарное течение – упорядоченное течение жидкости, при котором траектории соседних частиц мало отличаются друг от друга, так что жидкость можно рассматривать как совокупность отдельных слоев, движущихся с разными скоростями, не перемешиваясь друг с другом.

Турбулентное течение – возникает в результате потери устойчивости ламинарного течения при достаточно больших числах Рейнольдса. При этом частицы совершают неустановившиеся неупорядоченные движения по сложным

траекториям, в результате чего происходит перемешивание различных слоев движущейся жидкости.

Ламинарное течение может быть как установившимся, так и не установившимся.

Турбулентное течение бывает только не установившимся (скорость жидкости в каждой точке нерегулярно меняется со временем).

Число Рейнольдса характеризует соотношение между силами инерции и силами трения в потоке жидкости.

$$R_e = \frac{VL}{\nu},$$

где V – характерная для данной задачи скорость жидкости, L – характерный размер препятствия или диаметр трубы, $\nu = \eta / \rho$ – кинематическая вязкость жидкости [$\text{м}^2/\text{с}$] (η – динамическая вязкость или коэффициент внутреннего трения жидкости, ρ – ее плотность). Для продольного обтекания пластин и тел с малой кривизной критическое число Рейнольдса $\sim 3 \cdot 10^5$ и сильно зависит от степени начальной турбулентности набегающего потока.

Кинематическая вязкость полнее, чем динамическая учитывает влияние внутреннего трения на характер течения жидкости или газа. Так, вязкость воды приблизительно в 100 раз больше, чем воздуха. Но кинематическая вязкость воды в 10 раз меньше, чем воздуха, поэтому вязкость сильнее влияет на характер течения воздуха, чем воды.

В трубе диаметром 2 мм течение становится турбулентным при скорости более 127 см/с, а в трубе диаметром 2 мм – уже при 12 см/с. Течение крови по такой трубе стало турбулентным при скоростях более 50 см/с.

Течение крови в артериях в норме является ламинарным, небольшая турбулентность возникает вблизи клапанов сердца. При патологии, когда вязкость бывает меньше нормы, число Рейнольдса может превышать критическое значение и движение становится турбулентным.

Методика определения токсичных компонентов в почвах

I. Методика расчета выноса биогенных веществ в агроэкосистемах

Вынос биогенных веществ – фосфора, калия и азота в агроэкосистемах рассчитывается по уравнению

$$W = P * F,$$

где W – вынос биогенных веществ, кг/год; P – удельное количество вымываемых веществ из почвы для конкретной сельскохозяйственной культуры (кг/га); F – площадь, занятая данной сельскохозяйственной культурой (га).

Удельное количество вымываемого вещества из почв рассчитывается как

$$P = A * K * U,$$

где A – коэффициент миграции биогенного вещества из почв для данной культуры; K – коэффициент выноса биогенного вещества из почв с урожаем; U – урожай культуры (ц/га).

Таблица 1

Коэффициенты миграции и выноса биогенного вещества с урожаем

Сельскохозяйственная культура	Тип почвы	Коэффициент миграции, A			Коэффициент выноса, K		
		P	N	K	P	N	K
Озимая пшеница	Дерново-подзолистые	0,12	0,16	0,07	1,20	2,45	2,60
	Чернозем	0,11	0,12	0,07	1,26	3,26	2,70
	Дерново-	0,11	0,28	0,36	0,90	3,40	2,00

Озимая рожь	подзолистые						
	Чернозем	0,08	0,22	0,15	1,00	2,29	2,70

II. Оценка распределения токсичных и тяжелых металлов

С точки зрения биологической классификации к тяжелым металлам относятся все металлы с относительной атомной массой выше 40.

Все элементы, из которых состоят растения, можно условно разделить на две группы:

- 1) микроэлементы, из которых построены молекулы белков, жиров, углеводов;
- 2) микроэлементы, функционально участвующие в синтезе структурных соединений, но не входят в их состав. Они обладают высокой биологической активностью, влияют на проницаемость мембран, перераспределение метаболитов внутри растений.

Выделяют особую токсичную группу тяжелых металлов, таких как кадмий, свинец, мышьяк, медь, цинк, ртуть, хром, никель и т.д., которые встречаются в природных ландшафтах. Их соотношение в почвах и растениях зависит от типа почв, рельефа местности, климатической зоны.

Различные виды растений обладают индивидуальным химическим составом, который зачастую связан с особенностями среды, где формировался данный вид (табл. 2).

В результате эволюции те или иные элементы поступали из почвы в растения, закреплялись и передавались по наследству.

Почва хорошо удерживает положительно заряженные ионы металлов. Поэтому постоянное поступление их даже в малых количествах в течение длительного времени способно привести к существенному накоплению тяжелых металлов в почве.

Металлы попадают в атмосферу в виде дымов, техногенной пыли, газообразных выбросов. В поверхностные водоемы тяжелые металлы попадают со сточными водами. При попадании тяжелых металлов в почву из атмосферы и поверхностных водоемов процессы их миграции замедляются.

Кроме того, одним из основных источников тяжелых металлов и радионуклидов могут быть минеральные удобрения, особенно фосфорные.

Таблица 2

Содержание кадмия в различных видах минеральных удобрений

Удобрения	Страна-изготовитель	Содержание кадмия, мг/кг
Апатиты	Россия, Кольский полуостров	0,4 – 0,6
	Австрия	38-42
	США	13,0
Фосфаты	Алжир, Марокко, Израиль	25
	Сенегал	70

Тяжелые металлы являются протоплазмическими ядами, токсичность которых возрастает по мере увеличения относительной массы. Ртуть, медь, свинец снижают активность ферментов (фосфатазу, каталазу, оксидазу, рибонумазу), при взаимодействии с биологически активными органическими веществами образуют комплексы, которые могут проникать через клеточные мембраны, способствуют разрушению аденазинтрифосфорной кислоты (АТФ).

Опасность тяжелых металлов состоит в том, что многие токсичные тяжелые металлы являются аналогами тяжелых металлов, находящихся в тканях и органах биологических организмов. При попадании в организм растений, животных или человека они всту-

пают в конкуренцию с микро- и макроэлементами и замещают их в тканях. Литий конкурирует с натрием, цезий – с калием, барий, стронций – с кадмием, кадмий – с цинком. При этом, например, при замещении цинка кадмием нарушается работа ферментов, связанных с дыханием, ферментов нуклеинового обмена, белкового обмена.

На фитотоксичность тяжелых металлов влияют следующие факторы: кислотность среды, катионная способность почвы, содержание органического вещества, абиотические факторы.

Изменения pH среды в кислотную сторону приводит к увеличению подвижности тяжелых металлов и усвоению через корневую систему. В зависимости от глубины проникновения корней и содержания органического вещества меняется степень удержания тяжелых металлов в почве.

Изменение абиотических факторов (свет, температура, влажность) влияют на скорость передвижения тяжелых металлов в почве, растениях, на образование водорастворимых форм тяжелых металлов.

Для оценки степени загрязнения почвы тяжелыми металлами используют методы полярографии, масс-спектрометрии, спектрофотометрии.

Наиболее распространен на практике метод спектрофотометрии: определение оптической плотности пламени в зависимости от вида сжигаемого соединения тяжелого металла.

Наиболее точные результаты дает метод масс-спектрометрии

III. Определение остаточного количества пестицидов в почвах

Пестициды – ядовитые органические и неорганические химические соединения, токсичные для живых организмов, способны накапливаться в тканях живых организмов и передаваться по пищевым цепям. Токсическое действие пестицидов может проявляться в виде хронических заболеваний, снижения защитных функций организма.

Загрязнение пестицидами может быть прямым и косвенным.

Прямое загрязнение на живые организмы оказывается при непосредственном опрыскивании или опылении сельскохозяйственных культур открытого и закрытого грунта в целях уничтожения вредных насекомых, возбудителей болезней, сорных растений, а также обеззараживания хранилищ и транспорта по перевозке сельскохозяйственного сырья.

Косвенное воздействие пестицидов проявляется при поступлении через корневую систему из почвы, при использовании загрязненной пестицидами воды, при миграции по пищевым цепям.

При обработке растений пестицидами в результате испарений они попадают в атмосферу и вместе с осадками – в воду и почву.

Избыточное содержание пестицидов в почве снижает ее биологическую активность и способность к самоочищению.

В тяжелых суглинистых почвах пестициды разлагаются медленнее, чем в легких и супесчаных.

На процесс детоксикации пестицидов существенное влияние оказывает внесение органических удобрений, соломы, сидератов при температуре 25-30°C, влажности 80-90% и pH>7.

Степень опасности того или иного пестицида определяется физико-химическими свойствами действующего химического вещества – структурой, реакционной способностью, летучестью, растворимостью в воде, липидах. Эти физико-химические свойства определяют устойчивость веществ в окружающей среде, скорость и характер трансформации и метаболизма в растениях, животных, человеке, подвижность в почве, степень проникновения через корневую систему в растения и способность связываться с компонентами тка-

ней живых организмов, устойчивость при переработке продуктов растительного сырья и животноводства.

Под остаточным количеством пестицидов в почвах действующее количество пестицидного препарата, продуктов его трансформации, образовавшееся под влиянием абиотических факторов окружающей среды (температуры, света, влажности), либо метаболизма под влиянием метаболических факторов.

Степень токсичности пестицидов определяется величиной дозы вещества, вызывающей нарушение процессов жизнедеятельности.

Критериями токсичности вещества являются величины токсических доз, вызывающих отравление, смерть при различных путях поступления.

Пестициды, как и все вредные вещества, делятся на 4 класса опасности (ГОСТ 12.1.007-76 (табл. 3)).

Кроме основных показателей (среднесмертельная доза ЛД-50, смертельная доза ЛД-99, пороговая доза, ПДК) для пестицидов вводится показатель, учитывающий стойкость его в объектах окружающей среды – почве, воде, растениях; период распада в среде на 50% - Т-50 и период распада в среде на 99% - Т-99.

При определении остаточных количеств пестицидов (ОКП) в почвах (растениях, пищевых продуктах) вводится максимально допустимый уровень – МДУ. Это связано с адсорбционной способностью пестицидов в почве и образованием достаточно прочных связей с почвенными коллоидами и тканями биологических объектов, в связи с чем извлечь полностью пестициды из почвы не удается.

На основании МДУ устанавливается *срок ожидания* – время в днях между последней обработкой и уборкой урожая. За этот период пестицид остается в растениях в пределах МДУ или полностью разрушается. Срок ожидания для малотоксичных препаратов составляет от 2 до 20 дней, для более токсичных – 1...2 месяца.

Таблица 3

Классификация пестицидов по степени токсичности

Показатели безопасности	Класс опасности			
	Чрезвычайно опасные	Высоко-опасные	Умеренно опасные	Малоопасные
ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	<0,1	0,1-1,0	1,0-10,0	>10
Период разложения в почве, месяцы	>24	18-24	1-6	1,0
Период разложения в воде, месяцы	18	2-18	3-12	<6
Изменения в хромосомах, %	5-10	2-5	1-2	1,5-1,0

Определение остаточных количеств пестицидов осуществляется методами: фотокolorиметрическим, тонкослойной и газожидкостной хроматографии.

IV. Методика оценки самоочищения среды от канцерогенных веществ

Самоочищение среду от канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) происходит в результате осаждения частиц-носителей ПАУ.

Почва является центральным естественным звеном циркуляции ПАУ. В почве элементы могут подвергаться деструкции под воздействием микрофлоры, процессов окисления и гидролиза, а также мигрировать по профилю почвы.

В природных условиях миграция вносимых частиц происходит под влиянием сложного комплекса факторов, к которым относятся:

- фильтрация атмосферных осадков вглубь почвы;
- капиллярный подток влаги к поверхности в результате испарения;
- термоперенос влаги под действием градиента температур;
- диффузия свободных и адсорбированных ионов;
- передвижение частиц по корневым системам растений.

В целом миграцию веществ в почве можно рассматривать как результат одновременного протекания двух процессов: переноса частиц движущейся влаги и ионной диффузии.

За коэффициент диффузии в почве принимают обобщенную величину, линейно связанную с физическим коэффициентом диффузии, а также с плотностью почвы, ее влажностью. Эта величина описывает как сам процесс диффузии, так и процесс обменного взаимодействия в почве.

Установлено, что относительное разрушение внесенного в почву биополимера не зависит от типа почвы, снижение его концентрации является только функцией времени.

Установленный уровень концентрации биополимеров в почве составляет 5-10 мкг на кг почвы (при этом содержание БП в дерново-подзолистой почве Подмосковья составляет 5,2 мкг/кг).

Для определения исходной концентрации биополимеров в пахотном слое почвы при обработке машинно-тракторным агрегатом используется соотношение

$$C = \Phi + \frac{D}{L * \gamma},$$

где Φ – фоновый уровень БП (мкг/кг); D – доза вносимого БП на 1 дм²; L – глубина отбора проб, дм; γ – средняя плотность почвы (кг/дм³). На европейской территории РФ $\gamma=1,5$ кг/дм³, $\Phi=3$ мкг/кг, $L=3$ дм.

Время наблюдения t в почве вносимого БП определяется как

$$t = 0,4 * (\ln C_0 - \ln \Phi)$$

Пример.

Определить расчетное количество C_0 вносимого БП и время наблюдения t при работе трактора в поле, считая что максимальная концентрация БП равна $C_m=0,58$ мкг/м³ и наблюдается на расстоянии $X_m=12,3$ м. Скорость трактора 5 км/ч, ширина захвата $Ш=1,2$ м, расход воздуха $V_i=0,083$ м³/с, объем трактора $V_0=3,36$ м³, обрабатываемая им площадь составляет 10⁵ м².

Решение

1. Определение дозы D вносимого БП на 1 дм²:

1.1. Время работы трактора $T_{тр}=S/(Ш*V_{тр.})=100000/1,2*1,39=38626,61$ с.

1.2. Количество расчетных точек N выброса пробы

$N=V_i - T_{тр.}/V_0=0,08*38626,61/3,36=953,59$

1.3. Определение дозы вносимого БП на 1 дм²:

$D=N*C_m/100=953,6*0,58/100=5,53$ мкг/дм²

2. Определение концентрации БП в пахотном слое

Принимается $\Phi=3$ мкг/кг, $L=3$ дм, $\gamma=1,5$ кг/дм³

$C_0=3+5,53/(3*1,5)=4,23$ мкг/кг

3. Определение времени наблюдения t концентрации БП в почве

$T=0,4*(\ln 4,23-\ln 3)=0,14$ мес.=4,1 сут.

Методика оценки экологического ущерба от выброса вредных веществ

Системой стандартов РФ в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов установлены основные положения определения платы за выбросы загрязняющих веществ, лимиты массы выброса вредных веществ, а также предельно допустимые нормы выброса вредных веществ, указанные в экологическом паспорте промышленного предприятия

Норматив платы предприятия за выброс вредных веществ в пределах установленных лимитов, руб./усл. т:

$$P^H = \frac{\sum_{t=1}^T Z_t}{\sum_{t=1}^T M_t^L},$$

где t – год планового периода; T – продолжительность планового периода (лет); Z_t – величина затрат в t -ом году, необходимая для предотвращения и компенсации ущерба, наносимого окружающей среде выбросами вредных веществ в атмосферу (руб.); M_t^L – приведенный лимит выбросов в целом по региону в t -м году, рассчитанный исходя из заданной региональной природоохранной программы (усл. тонн в год).

Приведенный лимит выбросов

$$M_t^L = \sum_{j=1}^J M_{jt}^L,$$

где j – индекс предприятия, для которого установлены лимиты выброса вредных веществ; M_{jt}^L – приведенный годовой лимит выбросов вредных веществ j -м предприятием в атмосферу в t -м году (усл. т):

$$M_{jt}^L = \sum_{i=1}^I k_i * m_{ijt}^L,$$

где i – вид загрязняющего вещества, учитываемого при установлении j -му предприятию лимита на выброс вредных веществ; m_{ijt}^L – лимит выброса i -го вредного вещества в натуральном измерении j -м предприятием в t -м году, значения которого устанавливаются в соответствии с этапами достижения нормативов ПДВ (т/год); k – коэффициент приведения, учитывающий относительную опасность i – го вещества:

$$k_i = \frac{1}{\text{ПДК}_{cci}},$$

где ПДК_{cci} – среднесуточные ПДК i -го вредного вещества в воздухе населенных мест (мг/м³).

Лимит выброса i -го вредного вещества предприятием в t -м году:

$$m_{ijt}^L = m_{ijt}^* - \frac{(m_{ijt}^* - m_{ij}^{\text{ПДВ}}) * t}{T_j},$$

где m_{ijt}^* – объем выброса i -го вредного вещества за j -й период в год, предшествующий расчетному периоду (базовый объем тонны); $m_{ij}^{\text{ПДВ}}$ – годовой объем ПДВ i -го вредного вещества j -м предприятием, достижение которого намечается через T_j лет (нормативный объем, тонны); T_j – количество лет, необходимое j -му предприятию для достижения ПДВ.

Размер платы j -го предприятия в i -м году за установленный лимит выброса вредного вещества

$$\Pi_{jt}^H = P^H * M_{jt}^L.$$

Норматив платы за выбросы вредных веществ, превышающие установленные лимиты для рассматриваемого предприятия, устанавливается в процентном соотношении от P^H в зависимости от уровня токсичности вещества и степени загрязнения региона.

Эффективность предотвращения ущерба от воздействия загрязняющих веществ оценивается экономическим эффектом, социально-экономическим и социальным аспектом.

Экономический эффект определяется снижением отрицательного воздействия на окружающую среду, улучшением ее состояния, уменьшением уровня загрязнения, увеличением количества и улучшением качества пригодных к использованию земельных, лесных и водных ресурсов.

Социально-экономический аспект определяется повышением уровня жизни населения.

Социальный аспект – улучшением физического развития населения, сокращением заболеваемости.

Экономический результат P средозащитных мероприятий определяется как

$$P = \Pi + \Delta D,$$

где Π – предотвращение экономического ущерба:

$$\Pi = Y_1 - Y_2,$$

Y – экономическая оценка ущерба, наносимого окружающей среде (руб.);

ΔD – годовой прирост от улучшения производства (руб.).

Чистый экономический эффект от внедрения средозащитных мероприятий

$$R = P - Z,$$

где Z – затраты на установку дополнительных устройств, уменьшающих выброс вредных веществ (руб.).

Экономическая оценка ущерба Y , причиняемого годовыми выбросами вредных веществ в атмосферный воздух, определяется как

$$Y = \gamma \sigma \alpha M,$$

где Y – ущерб (руб./кг);

γ – константа, зависящая от курса рубля;

σ – показатель относительной опасности загрязнения над различной территорией, выбираемой по правилу: $\sigma=12-13$ – для шахт и подземных разработок, $\sigma=10$ – курортные зоны, $\sigma=8,0-8,5$ – теплицы, животноводческие помещения, $\sigma=3,0-3,5$ – малые города, $\sigma=0,5$ – пригородные зоны (сады, виноградники), $\sigma=0,1-0,25$ – пашни для населенных мест с плотностью населения n -чел./га, $\sigma=0,1$ – чел./га пашни, $\sigma=0,2$ – леса;

α – константа, учитывающая природно-климатические условия. Для Средней Азии, Закавказья, Черноморского побережья Кавказа и Крыма $\alpha=1,40$, Для Северного Кавказа, Южного Казахстана, Нижнего Поволжья, Молдавии и Украины $\alpha=1,20$, для прочих территорий СНГ, расположенных южнее 65° с.ш. – $1,0$, севернее – $0,70$;

M – приведенная масса годового выброса (усл. т/год), определяемая из

$$M = \sum_{i=1}^N A_i * M_i,$$

A_i – относительная агрессивность примеси i (усл. т/год), выбирается для CO – 1 , SO_2 – 16 , NO_2 – $41,1$, $БП$ – $12,5 \cdot 10^5$, сажи – $41,52$;

M_i – масса годового выброса примеси в атмосферу (т/год);

N – общее число примесей, выбрасываемых источником в атмосферу