

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина»

А.К. Муртазов

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Учебное пособие

Часть I

Рязань 2008

Рекомендовано к изданию
кафедрой экологии и природопользования
РГУ имени С.А. Есенина
протокол № 1 от 2 сентября 2008 г.

Рецензент А.Ю. Прибылов, доцент кафедры информатики и вычислительной техники
РГУ имени С.А.Есенина, кандидат технических наук

Экологический мониторинг. Методы и средства. Учебное пособие. Часть I /
А.К. Муртазов; Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина. - Рязань,
2008. – 146 с.

В учебном пособии рассмотрены: основные принципы экологического нормирования, методы и приборное обеспечение экологического мониторинга основных природных сред, методы и средства мониторинга радиационного, актинометрического, шумового загрязнения экологических систем. Пособие предназначено для студентов естественных факультетов университетов, изучающих курс «Экологический мониторинг» и основано на материалах лекционного курса «Экологический мониторинг», читающегося автором студентам-экологам в Рязанском государственном университете имени С.А. Есенина.

*Учебное пособие издано в рамках аналитической ведомственной целевой программы
«Развитие научного потенциала высшей школы» Министерства образования и науки РФ,
Федерального агентства по образованию – проект РНП.2.2.3.1.1607*

© А.К. Муртазов, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава I. Основные контролируемые параметры и нормирование загрязнений природной среды	5
1.1. Нормирование качества природных сред	5
1.2. Структура и задачи Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.....	15
1.3. Компьютерные технологии в экологическом мониторинге.....	25
Глава II. Методы экологического мониторинга основных составляющих окружающей среды	28
2.1. Мониторинг атмосферы.....	28
2.2. Мониторинг гидросферы.....	36
2.3. Мониторинг суши и геологической среды	45
2.4. Мониторинг околоземного пространства.....	55
2.5. Химические основы экологического мониторинга.....	78
Глава III. Методы радиационного мониторинга окружающей среды	83
3.1. Основные понятия и система нормирования в радиационной экологии	83
3.2. Методы и средства радиационного контроля окружающей среды.....	91
3.3. Обзор современного состояния и тенденции развития дозиметрического и радиометрического оборудования.....	100
3.4. Бытовые приборы для измерения ионизирующих излучений.....	104
3.5. Современное обеспечение радиационно-экологического мониторинга на АЭС.....	108
Приложения	
I. Многоуровневый экологический мониторинг в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа.....	116
II. Актинометрические измерения.....	126
III. Измерение шумов и вибраций	131
IV. Применение приборов радиационной разведки, контроля радиоактивного заражения и облучения.....	138
Литература	147

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач курса «Экологический мониторинг» для студентов-экологов университетов является их обучение современным методам и средствам контроля состояния окружающей природной среды и прогноза его изменения. Кроме фундаментальных понятий в курсе «Экологический мониторинг» должны содержаться сведения о современном приборном обеспечении процесса определения различных параметров окружающей среды: принципах работы измерительной аппаратуры, особенностях конструкции приборов, методики проведения экспериментов и обработки их результатов.

В многочисленных пособиях по экологическому мониторингу методам и приборам контроля состояния окружающей среды уделяется неоправданно мало внимания. Такой подход уводит студентов в сторону специальной литературы по соответствующим вопросам, однако при этом теряется экологическая направленность обучения.

В настоящем пособии автор попытался восполнить имеющийся пробел, подготовив настоящее пособие в соответствии с программой курса дисциплины «Экологический мониторинг» и Государственным образовательным стандартом подготовки студентов по специальностям 013100 «Экология» и 013400 «Природопользование».

В 1-части учебного пособия подробно рассмотрены современные методы экологического мониторинга основных природных сред. При этом общий обзор методов экологического мониторинга состояния и загрязнения околоземного пространства публикуется в нашей литературе впервые.

Проанализированы вопросы нормирования качества природных сред

Описаны структура и задачи Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Отдельно проанализированы методы радиационного мониторинга окружающей среды, обеспечение радиационно-экологического мониторинга на АЭС, приведено подробное описание приборов контроля радиационной обстановки, современного состояния и тенденции развития дозиметрического и радиометрического оборудования.

В приложении описаны методы и приборы для измерения шумов и вибраций, актинометрических исследований.

Приведено описание весьма актуальной для нашей страны системы многоуровневого экологического мониторинга в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа, разработанной специалистами Института океанологии РАН.

Пособие предназначено для студентов естественных факультетов университетов, изучающих курс «Экологический мониторинг» и основано на материалах лекционного курса «Экологический мониторинг», читающегося автором студентам-экологам в Рязанском государственном университете имени С.А. Есенина, но также может быть использовано студентами других естественнонаучных специальностей.

Глава I

ОСНОВНЫЕ КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ И НОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

1.1. Нормирование качества природных сред

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 биологического 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 (ЛД₀₋₁₀)** 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 «эталоны» для оценки благополучия воздушной среды в селитебной зоне. Но использование этого норматива в качестве единицы измерения (пять ПДК_{сс} по оксидам азота) — абсурдно!

Таблица 1.1

Соотношение различных видов ПДК в воздухе для некоторых веществ

Вещество	ПДК _{сс} , мг/м ³	ПДК _{мр} , мг/м ³	vПДК _{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:

$$Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{ср i}}{ПДК_{сс i}} \right)^{c_i} \quad (1.1)$$

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 1.2

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. Максимальные 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 C_{95} . Расчет C_{95} проводится одним из статистико-расчетных или графических методов.

Кратность превышения K рассчитывается делением показателя C_{95} на максимальную разовую ПДК:

$$K = \frac{C_{95}}{ПДК} \quad (1.2)$$

Таблица 1.3

Критерий оценки степени загрязнения атмосферного воздуха по максимальным разовым концентрациям

Класс опасности	Экологическое бедствие (ст. 59)		Чрезвычайная экологическая ситуация (ст. 58)	
	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 C_{95pr} определяется по формуле:

$$C_{95pr} = C_1 + C_2 \frac{ПДК_1}{ПДК_2} + C_3 \frac{ПДК_1}{ПДК_3} + \dots + C_n \frac{ПДК_1}{ПДК_n}, \quad (1.3)$$

где C – 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 K . Определенный по этому показателю ряд за анализируемый период (год) оценивают в соответствии с критериями, приведенными в таблице.

Таблица 1.4

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
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 $C_{cc.pr}$.

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_{сс} по соотношению:

$$ПДК_{г} = aПДК_{сс} . \quad (1.4)$$

Значения коэффициента «а» приведены ниже.

Таблица 1.5

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:

$$KZ_{кл} = K , \quad (1.5)$$

где n – коэффициент изоэффективности; 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:

$$P = Sqrt(Sum(K_j^2)), \quad (1.6)$$

где $Sqrt(Sum(K_j^2))$ – 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 табл. 1.6.

Таблица 1.6

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.

Таблица 1.7

ПДК для разных водоемов

Вещество	ПДК _{вр} , мг/дм ³	ПДК _в , мг/дм ³
Ртут неорганические соединения (по Hg)	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 :

$$K_i = C_i / \text{ПДК}_i ; \quad (1.7)$$

$$H_i = N_{\text{ПДК}_i} / N_i ; \quad (1.8)$$

$$B_i = K_i H_i, \quad (1.9)$$

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 рН 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 поч-

вы. 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 ГОСТом 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_f :

$$K_c = C/C_f \quad (1.10)$$

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

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n - 1) \quad (1.11)$$

где K_{ci} — коэффициент концентрации i -ого элемента в пробе; n — число учитываемых элементов.

Таблица 1.8

**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 1.9

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

1.2. Структура и задачи Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

Система получения гидрометеорологической и гелиогеофизической информации и информации о загрязнении окружающей среды, включающая в себя и средства проведения наблюдений и обслуживающий персонал, подразделяется на наземную и космическую подсистемы.

Наземная подсистема получения информации

Основу подсистемы составляют сетевые организации Росгидромета: центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС), гидрометеорологические обсерватории (ГМО), гидрометбюро (ГМБ), авиаметеорологические центры (АМЦ), авиаметстанции (АМСГ), центры мониторинга загрязнения окружающей среды (ЦМС), и лаборатории, гидрометеорологические станции и посты, пункты наблюдения за загрязнением (ПНЗ):

- приземные метеорологические;
- актинометрические и теплобалансовые;
- гидрологические (речные) и воднобалансовые;
- аэрологические;
- морские прибрежные и судовые (открытого моря);
- агрометеорологические наблюдения;
- за уровнем химического и радиоактивного загрязнения атмосферы, вод суши, морских вод, почвы и снежного покрова;
- метеорологические радиолокационные (МРЛ);
- наблюдения за атмосферным электричеством;
- озонметрические;
- радиометрические;
- геомагнитные;
- мониторинг фонового загрязнения окружающей среды;
- наблюдения за состоянием озер;
- снеголавинные;
- селестоковые;
- ионосферные.

Ввиду большого разнообразия характеристик, определяющих состояние окружающей среды, различий в требованиях к точности, частоте их измерений и периоду осреднения, а также из-за особенностей применяемых технических средств наземная подсистема представляет собой сеть пунктов, проводящих следующие виды наблюдений:

Разделение сети пунктов наблюдения по перечисленным видам является условным, так как станции и посты проводят наблюдения комплексно

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.

Космическая подсистема получения информации включает в себя:

- метеорологический спутник «Метеор» (4 спутника) - проводит наблюдения за облачностью и подстилающей поверхностью в инфракрасном и видимом диапазонах спектра, гелиогеофизические наблюдения, наблюдения за глобальным распределением озона, а также измерение составляющих радиационного баланса Земли

- природно-ресурсный спутник «Ресурс» (1 спутник) - позволяет оперативно получать в цифровом виде многозональные изображения природных объектов с высоким разрешением

- океанографический спутник «Океан» (1 спутник) - передает оперативную информацию о ледовой обстановке вне зависимости от облачности и условий освещенности

- геостационарный спутник «Электро» (1 спутник) - позволяет с большой частотой получать изображения облачности и подстилающей поверхности в инфракрасном и видимом диапазонах спектра, определять скорость и направление ветра на высотах, температуру поверхности океана и высоту верхней границы облаков

Обработка информации

Полученная гидрометеорологическая информация и информация о загрязнении окружающей среды поступает в центры ее обработки и анализа:

- Мировой метеорологический центр "Москва" (Гидрометцентр России);
- Новосибирский региональный метеорологический центр;
- Хабаровский региональный метеорологический центр;

другие специализированные центры, включая Центр по представлению оперативной и прогностической информации об аварийной радиационной обстановке.

Данные анализа и расчетов распространяются по каналам связи в гидрометцентры и центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды УГМС, где на основе этих данных готовится конечная продукция. Она подразделяется на продукцию общего пользования и специализированную продукцию для конкретного потребителя.

Виды предоставляемой продукции: Фактическая гидрометеорологическая и гелиогеофизическая информация, информация о загрязнении окружающей среды.

Метеорологические прогнозы:

- стихийных гидрометеорологических явлений;
- осадков;
- облачности;
- явлений погоды;
- направления и скорости ветра у поверхности Земли.

Речные гидрологические прогнозы:

- уровня и расхода воды на реках;
- притока воды в водохранилища;
- даты наступления ледовых явлений;
- максимального уровня воды в половодье;
- водности рек;
- даты вскрытия рек и очищения ото льда озер и водохранилищ;
- даты появления льда на реках, озерах и водохранилищах;
- минимального уровня воды судоходных рек.

Морские гидрологические прогнозы:

- ледовых условий;
- волнения;
- уровня;
- течений;
- опасных явлений;
- рекомендации о безопасных и экономически выгодных путях плавания.

Агрометеорологические прогнозы:

- состояния озимых зерновых культур после перезимовки;
- перезимовки многолетних сеяных трав и плодовых культур;

- запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы к началу весны;
- урожайности, сроков созревания и валового сбора основных сельскохозяйственных культур (отдельно по культурам и областям).

Авиационные прогнозы:

- погоды по аэродрому;
- особых явлений погоды и струйных течений для полета на больших высотах;
- особых явлений погоды и струйных течений на малых высотах;
- направления и скорости ветра для полета на малых высотах.

Гелиогеофизические прогнозы:

- вспышек на Солнце;
- геомагнитных бурь;
- дозы облучения на трассе полета космических аппаратов;
- изменения плотности и состава верхней атмосферы;
- уровня загрязнения околоземного космического пространства и верхней атмосферы.

Режимно-справочная информация:

Режимно-справочные банки данных, которые содержат следующую информацию:

- метеорологическую, в том числе с высотных башен и мачт;
- аэрологическую, в том числе самолетного и ракетного зондирования;
- гидрологическую по рекам и каналам;
- гидрологическую по озерам, водохранилищам и болотам;
- океанографическую;
- морскую устьевую, судовую гидрометеорологическую и гидротехническую;
- морскую аэрометеорологическую;
- агрометеорологическую;
- синоптическую;
- актинометрическую;
- радиолокационную;
- данные наблюдений за атмосферным электричеством.

Государственный водный кадастр - систематизированный фонд данных о водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод. Ведение кадастра осуществляется совместно с другими ведомствами. Росгидромет отвечает за раздел «Поверхностные воды».

Кадастр лавин - систематизированный материал о распространении и режиме лавин (издается раз в 5 лет).

Продукция специализированных служб, к которым относятся:

• Служба предупреждения цунами

Создана совместно с Российской академией наук для прогноза возникновения цунами. Включает 3 региональных центра, расположенных во Владивостоке, Южно-Сахалинске и Петропавловске-Камчатском.

• Противолавинная служба осуществляет:

- оперативный прогноз возможного схода лавин;
- разработку мероприятий по защите населения и хозяйственных объектов;
- экспертизу о возможности хозяйственной деятельности на лавиноопасной территории;
- предупредительный спуск лавин для безопасности населения и уменьшения ущерба от схода лавин.

○ Гелиогеофизическая служба.

Обеспечивает фактической и прогностической информацией об изменении солнечной активности, состояния околоземного космического пространства, магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы Земли. Использует

данные наблюдений, полученные с искусственных спутников Земли и наземных обсерваторий.

○ **Служба мониторинга загрязнения окружающей среды**

Создана с целью наблюдения за происходящим в окружающей среде физическими, химическими и биологическими (для водных объектов) процессами и обеспечения заинтересованных организаций и населения текущей и экстренной информацией, в том числе прогнозами и предупреждениями о неблагоприятных ее изменениях. Подготавливаемые прогнозы метеорологических условий, задерживающих рассеяние выбросов вредных примесей в атмосфере, и перемещения загрязненных (в том числе в результате аварийных) водных масс используется для осуществления оперативных мероприятий по сокращению вредных выбросов в атмосферу и предотвращению неблагоприятного для населения и окружающей среды влияния загрязненных вод.

Методическое обеспечение деятельности сети и более 225 аналитических лабораторий, а также сбор, обработка и ведение банка данных о загрязнении окружающей среды на территории России осуществляется пятью информационно-аналитическими центрами, в которых определяется весь спектр радионуклидов и вредных химических веществ.

Действующие в службе мониторинга специализированные подсистемы обеспечивают проведение наблюдений от "фоновых" (в биосферных заповедниках) до импактного (мониторинг радиоактивного загрязнения р.Течи, зон ПО "Маяк", "чернобыльских" зон загрязнения) уровня.

Доведение продукции до потребителей

Продукция Росгидромета позволяет обеспечивать безопасность населения, планировать различным отраслям экономики свою деятельность с целью получения значительного экономического и социального эффекта

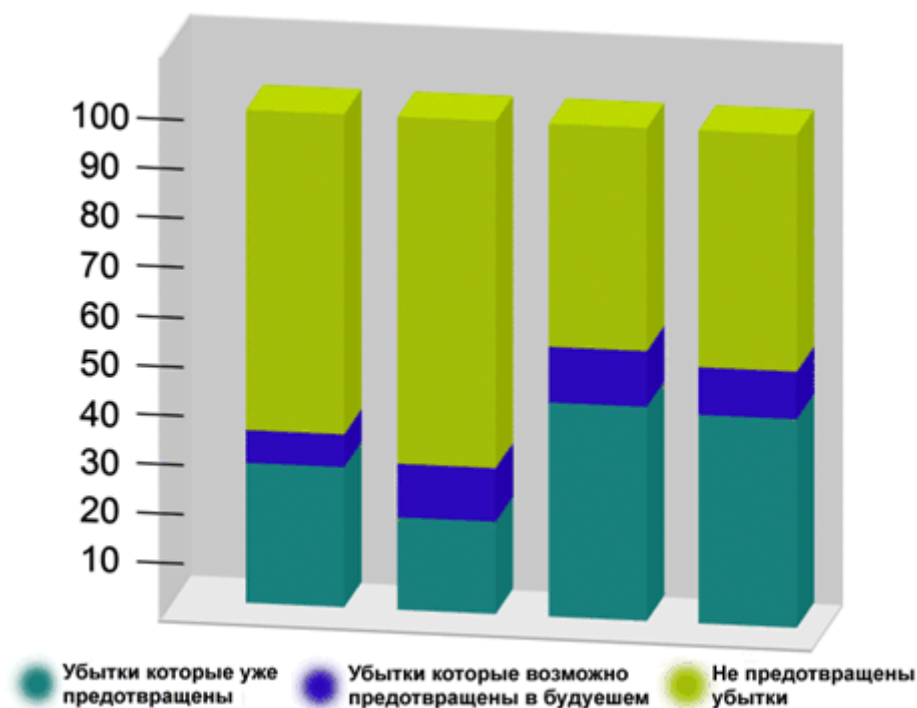


Рис. 1.1. Экономическая полезность гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики

Потребители гидрометеорологической информации и информации о загрязнении окружающей среды:

- население через средства массовой информации;
 - федеральные органы законодательной и исполнительной власти;
 - органы законодательной и исполнительной власти субъектов Федерации;
 - Вооруженные Силы;
 - гражданская авиация;
 - органы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
 - морской и речной транспорт;
 - железнодорожный транспорт;
 - автомобильный транспорт;
 - сельское хозяйство;
 - топливно-энергетический комплекс;
 - строительство;
 - органы природно-ресурсного комплекса;
 - коммунальное хозяйство;
- другие структуры различных форм собственности.

Потребители обеспечиваются:

- данными регулярных наблюдений на станциях и постах;
- метеорологическими, гидрологическими, агрометеорологическими, гелиогеофизическими и специализированными прогнозами, предупреждениями о стихийных явлениях и экстремально высоком загрязнении окружающей среды;
- многолетними данными и характеристиками гидрологического режима;
- оценками последствий изменения климата для отраслей экономики;
- данными гидрометеорологической экспертизы проектно-изыскательских работ.

Способы доведения продукции до потребителей:

- гидрометеорологический бюллетень;
- передача прогноза погоды через средства массовой информации. Все центральные телевизионные каналы и радиостанции несколько раз в сутки передают прогнозы погоды и предупреждения о стихийных явлениях погоды;
- ежедневные газеты помещают прогноз погоды;
- справки и бюллетени о загрязнении окружающей среды;
- распространение справок и докладов с гидрометеорологической информацией и информацией о загрязнении окружающей среды;
- передача информации потребителю по телетайпу, факсимильным каналам связи, по телефону, через автоответчик;
- выдача режимно-справочной информации для работы в читальном зале;
- предоставление документов во временное пользование;
- выдача копий на магнитных лентах;
- осуществление выборок и расчетов по запросу.

Активные воздействия

Активные воздействия проводятся с целью сокращения ущерба от неблагоприятных явлений погоды и направлены на подавление града, регулирование осадков, предупредительный спуск снежных лавин, рассеяние туманов в аэропортах

Противоградовые работы

Основное назначение - защита сельскохозяйственных культур от градобития. В России, где потери урожая от града составляют 15-20%, такие работы проводятся с 1961 года. С помощью радиолокаторов определяются градоопасные облака, выявляются очаги заро-

ждения града и их координаты. После этого целенаправленным обстрелом из зенитных и ракетных установок в облако вводится йодистое серебро. В результате зоны зарождения и роста града локализуются и град либо не выпадает вообще, либо выпадает только на ограниченной территории. Эффективность защиты от града составляет 70-80%.

Искусственное регулирование осадков

Работы по искусственному регулированию осадков проводятся с 1986 года. Они направлены на увеличение осадков в районах недостаточного увлажнения и на их уменьшение - в районах с избытком влаги. В основе технологии - засев облаков реагентами, в результате чего осадки из облаков выпадают в заданном месте. В качестве реагентов используется твердая углекислота и йодистое серебро, которые вводятся в облако с самолетов -лабораторий. Для обнаружения облачности и определения ее характеристик, как и в противогололедных работах, используется радиолокационный комплекс АКСОПРИ.

Предупредительный спуск снежных лавин

Впервые искусственное обрушение лавин для защиты объектов хозяйства и населения стало использоваться в 1976 году. Очаги опасного накопления снега обстреливаются осколочно-фугасными снарядами из 100-мм зенитных пушек дальностью 10 км или противолавинным ружьем ПРБ-3, радиус действия которого 400 м. В результате лавины сходят малыми объемами на территорию, с которой удалены люди и техника.

Рассеяние холодных туманов

Рассеяние холодных туманов предназначено для повышения регулярности полетов гражданской авиации. Работы проводятся с 1989 года в а/п "Шереметьево". Эффект "рассеяния тумана" достигается в результате распыления жидкого азота при помощи установок "Азот". Суммы предотвращенных потерь от нарушения движения более чем в 10 раз превышают затраты на работы.

Спектр научных исследований учреждений Росгидромета:

- изучение и прогнозирование гидрометеорологических и гелиогеофизических процессов в атмосфере, океане и околоземном космическом пространстве;
- научно-методическое обеспечение работ по ликвидации последствий техногенных аварий и катастроф;
- оценка и прогноз изменения климата
- активные воздействия на гидрометеорологические и геофизические процессы;
- исследования в Арктике и Антарктиде;
- изучение озонового слоя Земли;
- оценка и прогноз масштабов и последствий загрязнения окружающей среды.

На протяжении многих лет в Росгидромете сложились и эффективно работают ведущие научные школы в области метеорологии, гидрологии, океанографии, геофизики, климата, мониторинга загрязнения окружающей среды. Каждое из двадцати научно-исследовательских учреждений Росгидромета имеет ясно выраженную, исторически и научно обоснованную специализацию и уникальность, признанную как в отечественной науке, так и в мировом сообществе.

Значительное место в тематике научных работ занимают конструкторские разработки приборов и систем для наблюдательной сети, технологии сбора, обработки и хранения информации.

Многие научные исследования выполняются в рамках международного сотрудничества и реализации проектов ВМО, ЮНЕП, ЮНЕСКО и других международных организаций.

Научно-исследовательские и научно-производственные учреждения

Гидрометеорологический научно - исследовательский Центр Российской Федерации (Гидрометцентр России) - ведущая научно-исследовательская организация Росгидромета
Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова (ГГО), носящая имя одного из выдающихся русских климатологов, является старейшим метеорологическим учреждением России.

Государственный Гидрологический Институт(ГГИ).

Валдайский Филиал Государственного Гидрологического Института (ВФ ГГИ).

Арктический и Антарктический научно - исследовательский Институт (ААНИИ).
ГНЦ РФ ААНИИ является старейшим научно исследовательским учреждением России, проводящим комплексное изучение Полярных регионов Земли.

Российский Государственный музей Арктики и Антарктики является единственным в России и крупнейшим в мире музеем с тематикой, посвященной истории и природным особенностям полярных районов нашей планеты. В настоящее время коллекции музея насчитывают 75000 экспонатов. Среди них есть и уникальные экспонаты, относящиеся к XVI веку.

Институт Прикладной Геофизики им. акад. ФЕДОРОВА Е.К. (ИПГ).

Государственный Океанографический Институт (ГОИН) ГОИН – головное научно-методическое учреждение Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в области океанографии (включая гидрохимию и загрязнение), морской метеорологии, гидрологии и гидрохимии морских устьев рек.

Санкт-Петербургское Отделение Государственного Океанографического Института (СПО ГОИН).

Центральная Аэрологическая Обсерватория (ЦАО). Направление деятельности: физика и химия атмосферы, мониторинг озонного слоя и ультрафиолетовой радиации; физика облаков; активные воздействия на погоду; использование самолётов-лабораторий, метеорологических ракет и спутников для исследования атмосферы. Библиотека 61000 томов. Издаются труды ЦАО.

Всероссийский научно - исследовательский Институт Гидрометеорологической Информации - Мировой Центр Данных (ВНИИГМИ-МЦД). Институт - ведущая в Росгидромете организация по созданию, внедрению и сопровождению систем сбора, обработки, хранения и распространения больших объемов данных о состоянии окружающей природной среды.

Всероссийский научно - исследовательский Институт Сельскохозяйственной Метеорологии (ВНИИСХМ) Является одним из ведущих центров России и стран СНГ в области теоретических и прикладных исследований в области агрометеорологии.

Высокогорный Геофизический Институт (ВГИ).

Институт Глобального Климата и Экологии Федеральной Службы России по Гидрометеорологии и Мониторингу окружающей среды и Российской академии наук (ИГКЭ)
Основная задача Института - изучение изменения климата, загрязнения природных сред и их экологических последствий. Исследуются как фундаментальные закономерности этих явлений и процессов, так и прикладные аспекты их мониторинга и оценки в региональном, континентальном и глобальном масштабах.

Дальневосточный региональный научно - исследовательский Гидрометеорологический Институт (ДВНИГМИ). Основные направления деятельности - метеорология и климатология, океанология, физическое и математическое моделирование, гидрология суши, агрометеорология, экология, программирование и математическое обеспечение.

Сибирский региональный Научно - Исследовательский Гидрометеорологический Институт (СибНИГМИ).

Научно-Исследовательский Центр Космической Гидрометеорологии «ПЛАНЕТА» (НИЦ "Планета") - ведущая организация Росгидромета по эксплуатации, развитию нацио-

нальных космических систем наблюдения Земли и по оперативному приему данных с зарубежных спутников.

Гидрохимический Институт (ГХИ).

Научно-производственное объединение «Тайфун» - государственное научное учреждение, одно из ведущих НИУ Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета). Учреждение создано 1 января 1986 года и является правопреемником Института экспериментальной метеорологии (ИЭМ).

Центральное Конструкторское Бюро Гидрометеорологического Приборостроения (ЦКБ ГМП).

Каспийский Морской научно-Исследовательский Центр (КаспМНИЦ).

Издательский центр «Метеорология и гидрология». «Метеорология и гидрология» – единственный в СНГ ежемесячный научно-технический журнал, освещающий основные проблемы и достижения отечественной и мировой гидрометеорологической науки и практики, вопросы мониторинга загрязнения природной среды и климата, методы прогнозирования погоды, водности, изменений климата.

Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов (ИПК Росгидромета) Институт ведет последипломную (дополнительную) подготовку в области гидрометеорологии, экологии и информационных технологий.

Международное сотрудничество

Росгидромет осуществляет широкое сотрудничество (как на многосторонней, так и на двусторонней основе) более чем с 20 международными организациями и в рамках более чем 20 соглашений со многими странами мира.

Международное сотрудничество Росгидромета в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды имеет следующие задачи

- более полное обеспечение оперативных прогностических органов Росгидромета необходимой гидрометеорологической информацией и информацией о загрязнении окружающей среды с сети станций и пунктов наблюдений на всем земном шаре;
- осуществление обмена различными видами научно-технической информации;
- выполнение на основе международной кооперации совместных работ по совершенствованию гидрометеорологического обслуживания различных отраслей экономики и населения страны.

Росгидромет представляет интересы Российской Федерации в одном из старейших специализированных учреждений ООН - Всемирной метеорологической организации (ВМО). Руководитель Росгидромета является постоянным представителем Российской Федерации при ВМО и членом ее Исполнительного Совета.

- Гидрометцентр России совместно с Главным вычислительным центром и Главным радиометцентром выполняет функции мирового метеорологического центра "Москва" Всемирной службы погоды ВМО,
- ВНИИГМИ МЦД - мирового центра данных,
- Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К.Федорова - евразийского центра предупреждений гелиогеофизических явлений,
- Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова - мирового радиационного центра ВМО и мирового центра по атмосферному электричеству,
- Арктический и антарктический научно-исследовательский институт - мирового центра данных по морскому льду,
- Центральная аэрологическая обсерватория - международного центра по оперативному анализу состояния озонового слоя,
- Дальневосточное и Западно-Сибирское УГМС - региональных специализированных метеорологических центров Всемирной службы погоды ВМО,

- Главный радиометцентр - регионального узла телесвязи Всемирной службы погоды,
- Институт повышения квалификации совместно с Московским гидрометеорологическим колледжем и Российским гидрометеорологическим институтом Минвуза - регионального учебного центра ВМО.

Особое место в международных связях Росгидромета занимает сотрудничество с гидрометеорологическими службами стран СНГ и ближнего зарубежья, основная цель которого - сохранение созданной за многие десятилетия единой пространственной и технологической системы сбора и обмена гидрометеорологической и другими видами информации как на территории бывшего СССР, так и за ее пределами в рамках интегрированных на международном уровне программ ВМО и других международных организаций.

Росгидромет активно участвует в деятельности Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ, созданного в феврале 1992 года, и его шести рабочих групп, разрабатывающих совместную политику этих стран в различных областях гидрометеорологии.

Значительное место в международной деятельности Росгидромета занимает двустороннее сотрудничество с национальными гидрометеорологическими и метеорологическими службами, а также с рядом национальных агентств и учреждений стран ближнего зарубежья в рамках межправительственных и межведомственных соглашений.

Каждое из этих соглашений предусматривает определенные направления развития сотрудничества, из которых можно выделить следующие:

- разработка и внедрение методов гидрометеорологических прогнозов;
- совершенствование и повышение эффективности двустороннего обмена данными, информацией и продукцией;
- совместные работы по изучению глобальных и региональных проблем, связанных с изучением состояния и изменения климата;
- использование цифровой информации с метеорологических ИСЗ в анализе и прогнозе погоды;
- оперативные технологии обработки гидрометеорологической информации;
- обмен опытом создания и эксплуатации технических средств гидрометеорологического назначения;
- специализированное гидрометеорологическое обслуживание на коммерческой основе.

Международные организации и конвенции, в работе которых Росгидромет принимает активное участие:

- Всемирная метеорологическая организация
- Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО
- Международная гидрологическая программа ЮНЕСКО
- Международное агентство по атомной энергии
- Международная организация гражданской авиации
- Программа ООН по окружающей среде
- Европейская экономическая комиссия ООН
- Комитет по наблюдению за Землей со спутников
- Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников
- Договор об Антарктике
- Рамочная конвенция ООН об изменении климата
- Хельсинская конвенция по предотвращению загрязнения морской среды Балтийского моря
- Венская конвенция об охране озонового слоя Земли
- Международное десятилетие ООН по уменьшению опасности стихийных бедствий

- Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации
- Лондонская конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов

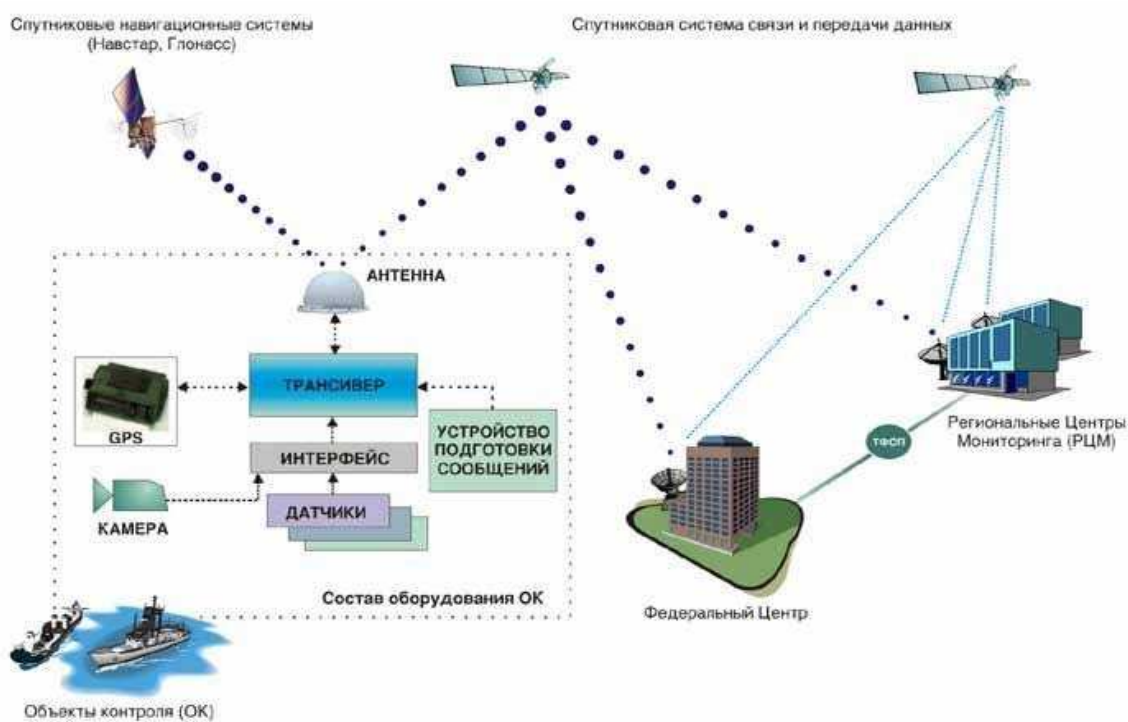


Рис. 1.2. Обобщенная структура дистанционного мониторинга

1.3. Компьютерные технологии в экологическом мониторинге

(А.В. Белобородов, 2005)

Проблема улучшения экологии включает решение множества весьма сложных, нелинейных, трудно формализуемых и требующих знаний по многим аспектам экологии, в том числе по мониторингу окружающей среды. В целом любая мониторинговая система должна рассматриваться как мониторинговая экспертная система, которая выполняет контроль над состоянием среды и помогает человеку влиять на это состояние.

Решение экологических задач в данное время представляет собой сложную проблему для всех стран мира. В первую очередь необходимо говорить об экономических трудностях решения экологических задач. Вести разработки, создавать и использовать специальные экологические системы (информационные, исследовательские и т.п.) стоит очень дорого, поэтому не все страны в состоянии поддерживать их состояние. Но, если не возникает трудностей в цене, на смену приходят другие – конструктивные, технические и другие проблемы.

Современные средства экологического мониторинга и обеспечивающие их информационно-управляющие системы представляют собой сложные многофункциональные многорежимные распределенные системы. В таких системах осуществляется совместная обработка сложно организованных данных и знаний. Они должны разрабатываться на основе современных информационных технологий, которые обеспечили бы им существенное повышение уровня информационной и интеллектуальной поддержки. Проблемы информатизации при решении экологических задач принимают фундаментальный характер в связи с широким применением локальных и глобальных вычислительных сетей. Эффективность предсказания развития экологической ситуации (в том числе и разрушений) в том или ином районе, на предприятии или объекте зависит от решения этих проблем.

Выходом из создавшегося положения является использование информационных технологий, основанных на знаниях. Представление и организация обработки знаний о предметной области обеспечивается в таких системах в целях повышения эффективности управления и процесса принятия решений на различных уровнях иерархии. Актуальность рассмотрения такого класса систем обусловлена их способностью к накоплению и обобщению знаний, к выработке гипотез и прогнозу и принятию решений. При решении экологических задач возникают ситуации, когда либо отсутствуют необходимые датчики первичной информации, либо существующие средства измерений не обеспечивают получение требуемой информации в темпе с процессом, либо в наличии имеется лишь качественная информация об объекте управления. В таких ситуациях необходимо иметь информационные технологии, которые позволяют на основе компьютерной обработки качественной или нечеткой информации об объекте получить требуемую информацию для управления.

Экологический мониторинг рассматривается как система наблюдений и оценки состояния окружающей среды, а также как средство информационного обеспечения процесса подготовки и принятия управленческих решений. Исходя из этого, к задачам экологического мониторинга относят:

- повторяющиеся в пространстве и во времени наблюдения за состоянием природных объектов и антропогенными воздействиями на окружающую среду;
- оценка по данным наблюдений интегральных показателей воздействия на окружающую среду и экологических рисков;
- прогнозирование последствий того или иного хозяйственного решения, а также вероятностей катастрофических природных явлений – как обусловленных антропогенными воздействиями, так и не связанных с ними;
- информационное обеспечение подготовки и принятия управленческих решений по охране природы и здоровья человека.

Считается, что экоинформационные системы включают в себя системы экологического мониторинга и служат функциональной основой процесса управления экологически безопасного развития на различных иерархических уровнях территориального деления (хотя возможна и другая точка зрения – это вопрос определений). В любом случае экоинформационная система должна обеспечивать решение множества задач:

- подготовка интегрированной информации о состоянии окружающей среды, прогнозов вероятных последствий хозяйственной деятельности и рекомендаций по выбору вариантов безопасного развития региона для систем поддержки принятия решения;
- имитационное моделирование процессов, происходящих в окружающей среде, с учетом существующих уровней антропогенной нагрузки и возможных результатов принимаемых управленческих решений;
- оценка риска для существующих и проектируемых предприятий, отдельных территорий и т.п., с целью управления безопасностью техногенных воздействий;
- накопление информации по временным трендам параметров окружающей среды с целью экологического прогнозирования;
- подготовка электронных карт, отражающих состояние окружающей среды региона;
- составление отчетов о достижении целей устойчивого развития для федеральных и международных организаций;
- обработка и накопление в базах данных результатов локального и дистанционного мониторинга и выявление параметров окружающей среды наиболее чувствительных к антропогенным воздействиям;
- обоснование оптимальной сети наблюдений для региональной системы экологического мониторинга;
- обмен информацией о состоянии окружающей среды (импорт и экспорт данных) с другими экоинформационными системами;
- предоставление информации, необходимой для контроля за соблюдением принятых законов, для экологического образования, для средств массовой информации и т.д.

Таким образом, экоинформационные системы должны быть ориентированы на комплексное использование результатов экологического мониторинга, обеспечивая преобразование первичных результатов измерений в форму, пригодную для поддержки принятия решений, способствующих устойчивому развитию отдельных регионов и планеты в целом. По мере перехода от первичных результатов экологического мониторинга к знаниям о состоянии окружающей среды, меняются методы работы с информацией.

В экоинформационной системе можно выделить три уровня (рис. 1), ориентированных на решение различных задач экологического мониторинга и отличающихся по методам работы с экологической информацией. Верхний уровень составляют программные модули для поддержки принятия решений, средний – программное обеспечение, позволяющее провести системный анализ информации о состоянии окружающей среды, а нижний – модули обработки первичной экологической информации.

На нижнем уровне экоинформационной системы для хранения данных о состоянии окружающей среды используются различные системы управления базами данных (СУБД), а для обработки результатов наблюдений используются различные программные продукты – электронные таблицы, пакеты прикладных программ типа MathCAD, Surfer и многие другие. Такое разнообразие программного обеспечения обусловлено громадным числом разноплановых задач обработки результатов наблюдений за состоянием окружающей среды, полученных с помощью локальных и дистанционных методов экологического мониторинга.

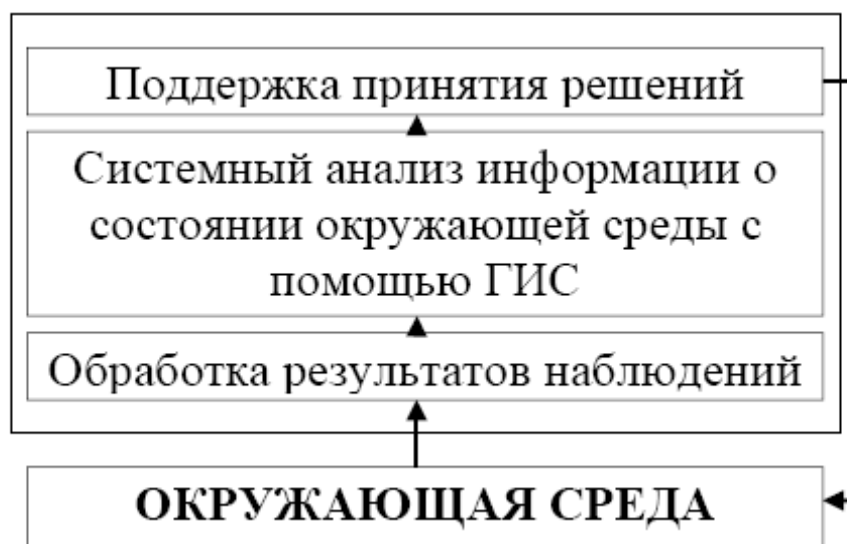


Рис.1.3. *Формирование информации для поддержки принятия решений в экоинформационных системах*

На среднем уровне экологической информационной системы для анализа информации о состоянии окружающей среды используются географические информационные системы (ГИС). Подобные системы, обеспечивая ввод, хранение, обновление, обработку, анализ и визуализацию всех видов географически привязанной информации, позволяют систематизировать выдачу такой информации для управления природными ресурсами, реализуя опыт, накопленный специалистами в этой области.

Информационные системы экологической безопасности, ориентированные на поддержку принятия решений, должны удовлетворять ряду новых требований, которые необходимо выполнить в процессе их построения. Для обеспечения поддержки принятия решений необходим еще один этап работы с информацией, позволяющий соотнести получаемые результаты со шкалой «хорошо – плохо». Такое соотнесение, прямо или косвенно, основывается на результатах мониторинга и имеет ряд специфических моментов – как научно-методических, при свертывании громадных объемов первичной информации, так и психологических, при представлении полученных результатов лицам, принимающим решения. В будущем системы поддержки принятия решений в области экологической безопасности неизбежно будут основываться на математическом моделировании процессов, происходящих в природе. Это неудивительно, так как схема «модель – гипотеза - эксперимент - установленный факт» составляет основу процесса познания практически в любой из многочисленных областей современной науки. В рамках математических моделей станет возможно и сопоставление между собой сведений из разных источников, и свертывание результатов мониторинга, и прогнозирование последствий того или иного хозяйственного решения.

Глава II

МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

2.1. Мониторинг 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.

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 **гигрограф**.

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.

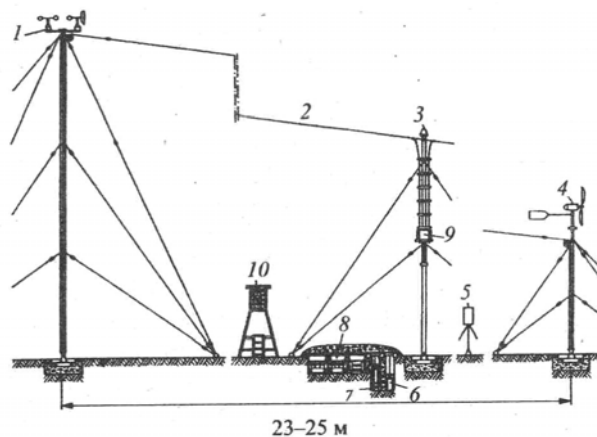


Рис. 1. Схема размещения АРМС М-109:

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

Радиозонд – измерение основных параметров атмосферы при помощи шара-зонда и передачи результатов измерений при помощи телеметрической системы. Высота полета 30-40 км, дальность действия – до 150 – 200 км. Первый радиозонд запущен в СССР в 1930 г.

Ракетное зондирование применяется для зондирования верхних слоев атмосферы: слой от 15-20 до 80-120 км (стратосфера и мезосфера), в котором располагается большая часть озоносферы и нижней ионосферы и более высокие слои термосферы и экзосферы.

Для изучения средней атмосферы используются метеорологические ракеты, поднимающиеся до высот 80-100 км. Они могут быть жидкостно- и твердотопливными. Основными параметрами, измеряемыми с помощью метеорологических ракет, являются: давление, температура, плотность и газовый состав воздуха. В зависимости от программы исследований могут измеряться и другие характеристики.

Для изучения верхней атмосферы применяются мощные геофизические ракеты, поднимающиеся до высот более 100-150 км. Производятся измерения интенсивности солнечного и космического излучения, оптических свойств воздуха, его термодинамических и электрических свойств, параметров магнитного поля Земли. Наряду с ракетным зондированием, относящимся к прямым методам измерений, для изучения верхней атмосферы применяются и косвенные методы с использованием радиолокации, метеолидаров, СВЧ, оптической техники и т.д.

Система ракетного зондирования состоит из самой ракеты, оснащенной измерительными приборами и наземного измерительного комплекса, под которым понимается совокупность наземных радиотехнических средств, предназначенных для приема телеметрической информации о параметрах атмосферы и для измерения координат ракеты во время полета (рис 2.1).

Доставка приборного контейнера на землю происходит с помощью парашюта.

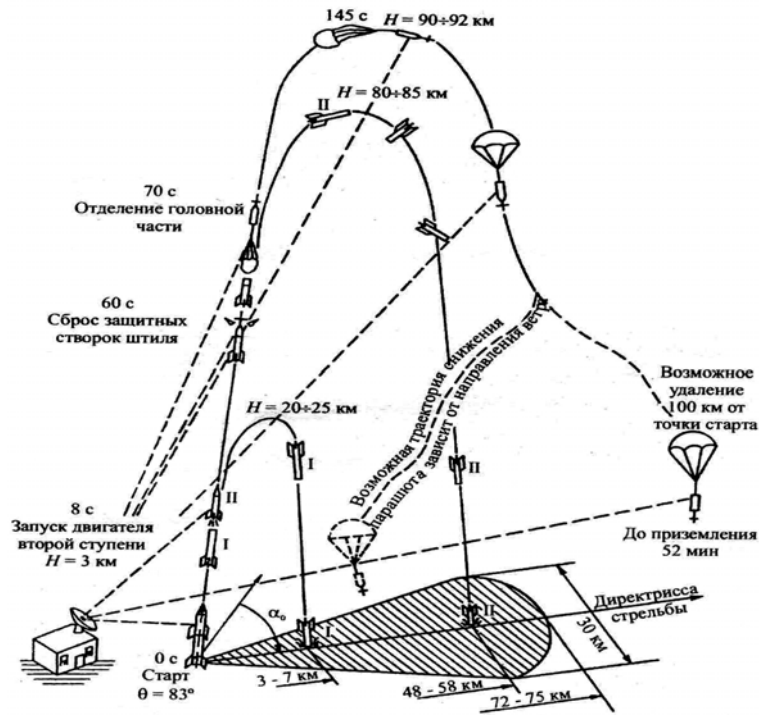


Рис. 2.1. Схема запуска и траектории полета метеорологической ракеты М-100Б

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

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \Rightarrow v = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} * c, \quad (2.1)$$

где λ - 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°. Данность действия метеорЛС - до 80-150 км.

С помощью метеорЛС распознаются все формы и виды облаков: Ci, Cc, 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 – (LiDaR - Light Detection and Ranging) прибор для проведения лазерного зондирования атмосферы в оптическом диапазоне спектра (рис. 4.1). В обобщенном смысле

ле 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 $\sim 10^{-6}$ см², плотность мощности - до 10 ТВт/см².

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.

Общая схема лазерной локации представлена на рис. 2.2.

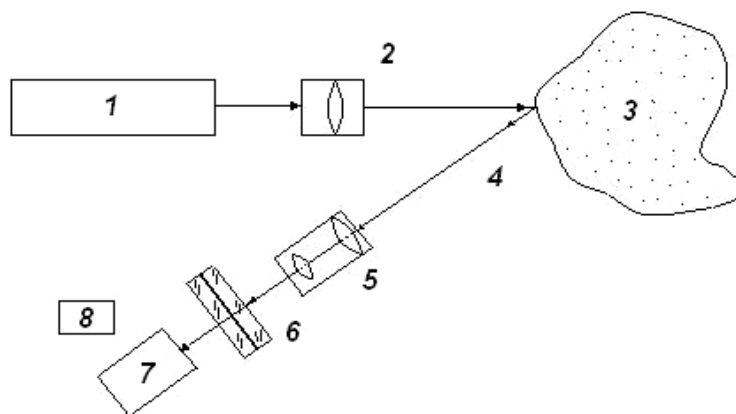


Рис. 2.2. Принципиальная схема лидара (Куклев, 2003).

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

$$W_{sc}(r) = \sigma * W_0 * n(r) * k(r) * \frac{F\Delta r}{4\pi r^2}, \quad (2.2)$$

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.

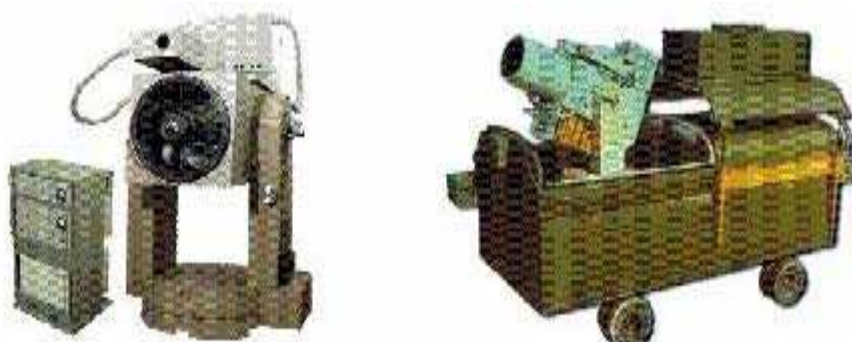


Рис. 2.3. Многоволновой лидар МВЛ-60 (МОБ) предназначен для оперативного дистанционного анализа характеристик атмосферного аэрозоля и облачных образований в атмосфере с помощью лазера, работающего на длинах волн 1064 (ИК), 532 (зеленый) и 355 (УФ) нм

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 Манделъштама-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.

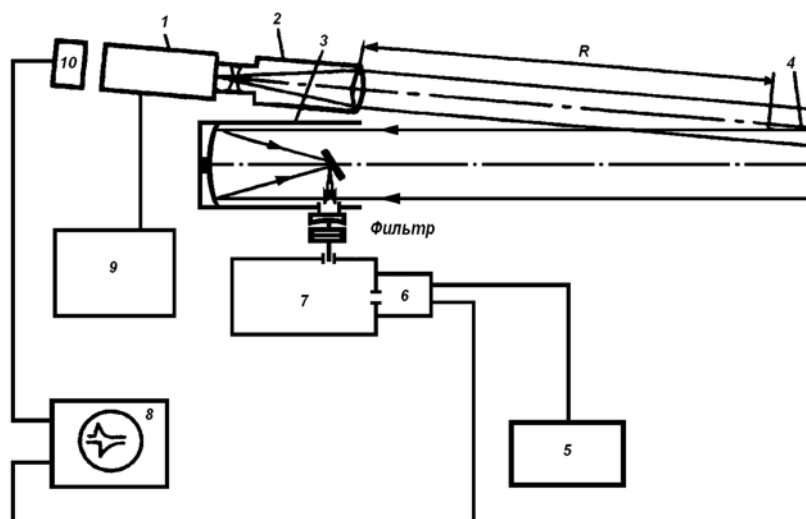


Рис. 2.4. Блок-схема установки для дистанционного анализа содержания состава атмосферы методом комбинационного рассеяния:

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. 2.5 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 $\sigma = \pi R^2$.

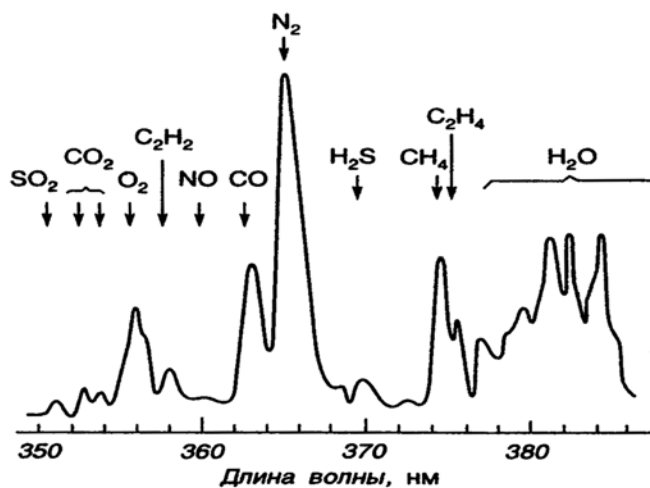


Рис. 2.5. Комбинационный спектр продуктов сгорания нефти

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 газового состава атмосферного воздуха

Отбор проб воздуха при анализе газо- и парообразных примесей осуществляется за счет протягивания воздуха через специальные твердые или жидкие поглотители, в которых газовая примесь конденсируется либо адсорбируется.

В последние годы в качестве сорбентов для концентрирования микропримесей используют растворимые неорганические хемосорбенты, пленочные полимерные сорбенты (полисорбы, порпаки, тенакс и др.), позволяющие улавливать из загрязненного воздуха самые различные химические вещества. Важным достоинством полимерных сорбентов являются их гидрофобность (влага воздуха не концентрируется в ловушки и не мешает анализу) и способность сохранять в течении длительного времени без изменения первоначальный состав пробы.

Контроль концентраций газо- и парообразных примесей атмосферного воздуха производится с помощью газоанализаторов, позволяющих осуществлять мгновенный и непрерывный контроль содержания в нем вредных примесей. Для экспресс-определения токсичных веществ используют универсальные газоанализаторы упрощенного типа (УГ-2, ГХ-2 и др.), основанные на линейно-колористическом методе анализа. При просасывании воздуха через индикаторные трубки, заполненные твердым веществом – поглотителем, происходит изменение окраски индикаторного порошка. Длина крашенного слоя пропорциональна концентрации исследуемого вещества, измеряемой по шкале в мг/л. Универсальный газовый анализатор УГ-2, серийно выпускаемой отечественной промышленностью, позволяет определять концентрацию 16 различных газов и паров. Погрешность измерений составляет $\pm 10\%$ от верхнего предела каждой шкалы.

Контроль концентраций с помощью прибора ДОАС-4Р полностью автоматизирован (рис. 2.6). В настоящее время это 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.

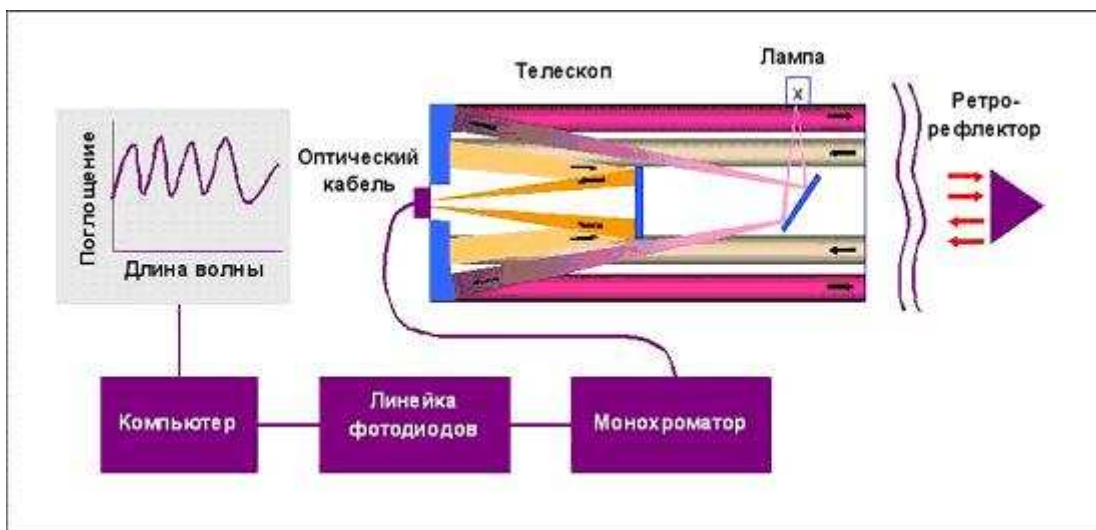


Рис. 2.6. Схема иллюстрирует, как световой пучок от ксеноновой лампы передается в атмосферу и после отражения ретрорефлектором возвращается в телескоп ДОАС-4Р. Затем по оптическому кабелю передается в монохроматор, где сканируется и анализируется.

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.

2.2. Мониторинг 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.

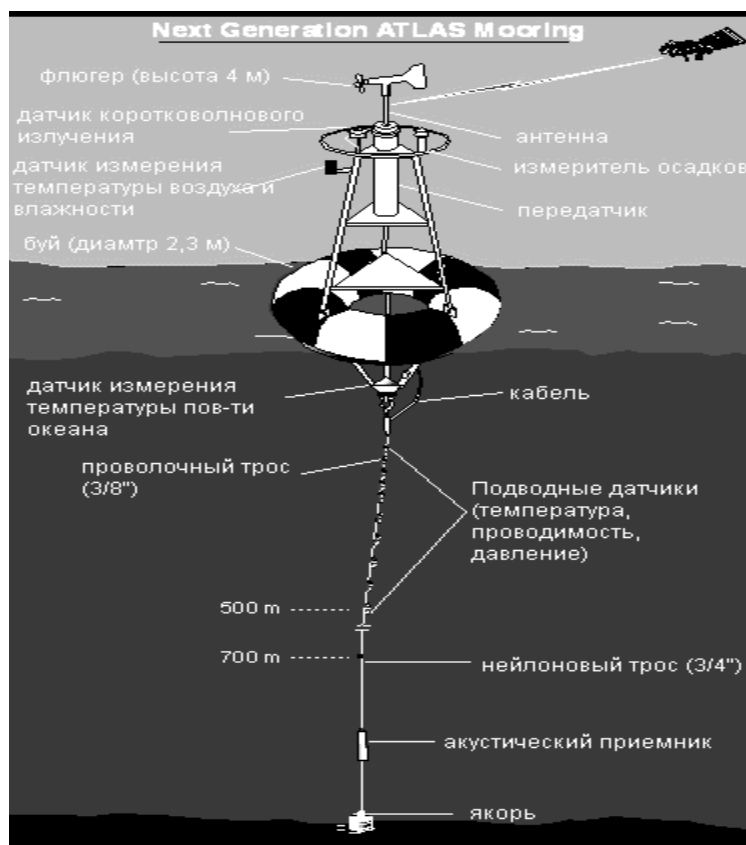


Рис 2.7. Современный морской буй с постановкой на якорь (mooring)

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 фонового состояния 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 ПХЗ₁₀ (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

$$ПХЗ_{10} = \sum_{i=1}^{10} \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (2.2)$$

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. 2.1, 2.2 (Емельянов, 1994).

Таблица 2.1

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
ПХЗ 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, % насыще- ния	>80	20-50	10-20
Биохимическое потребление кисло- рода, 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

Таблица 2.2

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 (солености 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.

Методы и средства контроля состояния гидросферы Земли

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. 2.8. (*Денисов, 2004*).

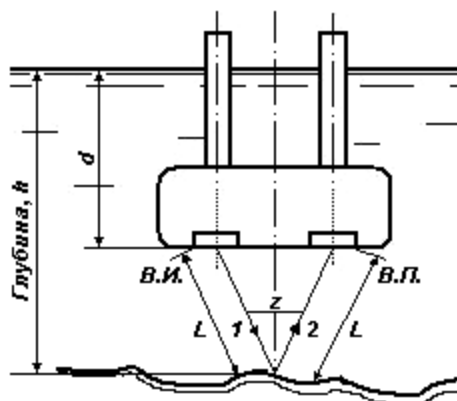


Рис. 2.8. Измерение глубин профилографом: В.И. – вибратор-излучатель, В.П. – вибратор-приемник, 1 – прямой сигнал, 2 – отраженный сигнал, d – глубина профилографа

Поплавковый метод – измерение скорости течения рек с применением поверхностных, глубинных и интеграционных поплавков, а также гидрометрических вертушек (рис. 2.9).

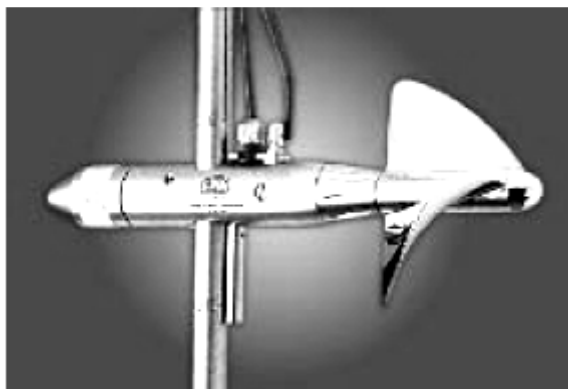


Рис. 2.9 Гидрометрическая вертушка

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. 2.10).

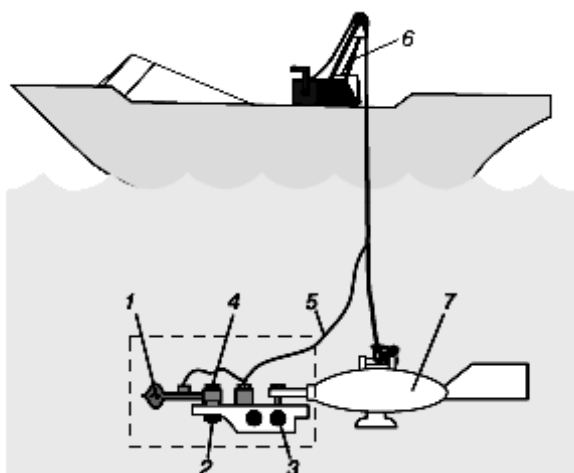


Рис. 2.10 Измерение расхода воды: 1 – гидрометрическая вертушка, 2 – гидроакустическая антенна измерителя глубины потока, 3 – гидроакустические антенны измерения скорости движения судна, 4 – гидроакустическая антенна измерителя скорости звука в воде, 5 – кабель, 6 – лебедка, 7 – груз (Семенов, 1997)

Аэрофотосъемка

Космическая съемка – получение изображений районов Мирового океана, материковых водоемов в различных участках спектра (спектрональная 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. Хемилю-

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

Флуоресценция – люминесценция, сразу прекращающаяся после окончания действия возбудителя 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) хлорофиллосодержащих 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, рН-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*.

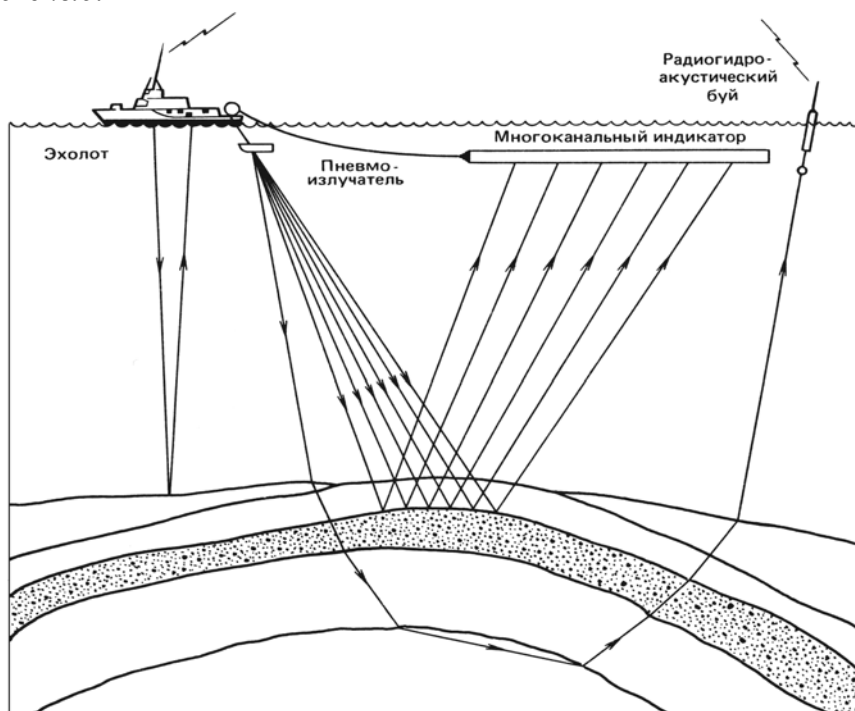


Рис. 2.11. Рельеф морского дна определяют посредством эхолотного зондирования. Для определения конфигурации слоев отложений под поверхностью морского дна используют более мощные акустические источники и многоканальные приемники (Дрейк, 1982)

Общая схема современной системы мониторинга гидросферы Земли приведена на рис. 2.12.

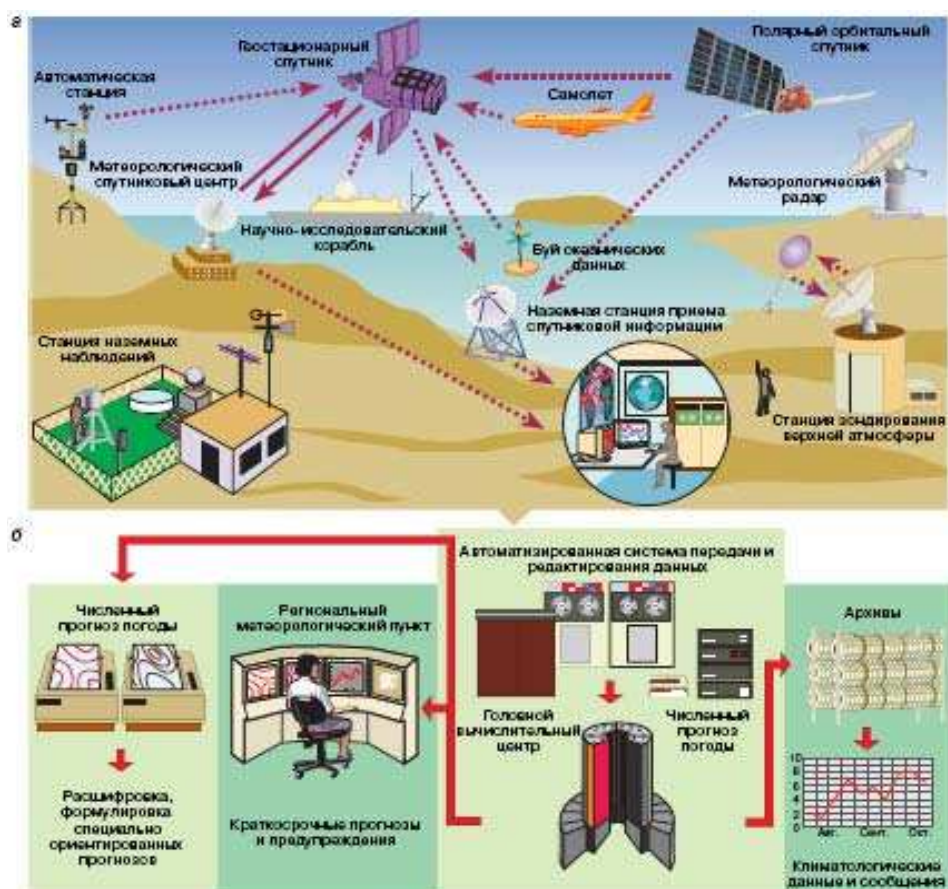


Рис. 2.12 Система наблюдений (а), сбора и обработки (б) данных наблюдений за состоянием гидросферы Земли (Семенов, 1997)

2.3. Мониторинг суши и геологической среды

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 ($C_{\phi i}$):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}} \quad (2.3)$$

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

$$z_c = \sum_{i=1}^n K_{C_i} - (n-1), \quad (2.4)$$

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

Таблица 2.3

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 2.4

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 из-

вестным 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.

Точность измерений лазерных сканеров в системе TopoSys (Германия) $<0,06\text{м}$. Точность высоты растрового массива, в котором наряду с погрешностью измерений имеется и погрешности в системе координат, $<0,10\text{м}$.

Общие принципы работы воздушного лидара на примере прибора класса ALTM, выпускаемого канадской компанией Ortech (Данилин и др., 2007).



Рис 2.13 Система дистанционного лазерного зондирования земной поверхности ALTM-3100: съемочный блок (справа), блок управления и архивации данных (слева)

В качестве излучателя используется полупроводниковый лазер, как правило, ближнего инфракрасного диапазона, работающий в импульсном режиме. Для каждого излученного импульса регистрируется время, затраченное на распространение от источника до объекта, вызвавшего отражение, и обратно к приемнику. С учетом постоянства скорости и прямолинейности распространения электромагнитных колебаний в атмосфере измеренное значение временного интервала позволяет определить расстояние («наклонную дальность») D от источника излучения до объекта. Кроме значения наклонной дальности, для каждого излученного импульса регистрируется текущее значение угла α отклонения сканирующего элемента (зеркала, призмы, оптического клина). Величина этого угла позволяет однозначно определить направление распространения зондирующего луча («линию визирования») в системе координат лидара, которая «жестко» связана со строительными осями сканерного блока лидара (рис. 2.14).

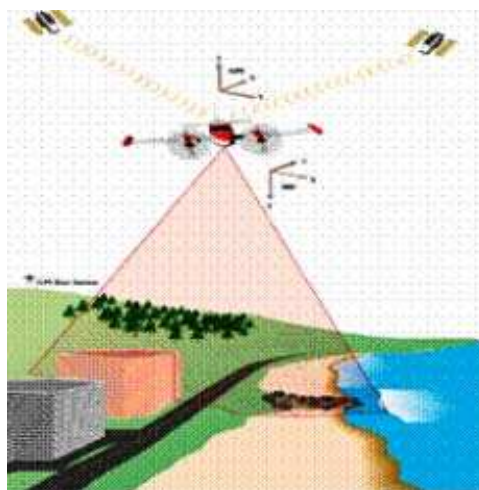


Рис 2.14. Принцип работы воздушного лидара

Положение и ориентация системы координат лидара в геодезической (или географической) системе координат определяются благодаря присутствию на борту в составе лидара носителя навигационного комплекса, который обеспечивает непрерывное определение трех пространственных координат положения сканерного блока X, Y, Z и трех углов его ориентации ω, φ, κ . Такой набор шести параметров пространственного положения и угловой ориентации в фотограмметрии называется элементами внешнего ориентирования. Принцип работы бортового навигационного комплекса основан на взаимодействии приемника спутниковой системы GPS и инерциальной системы.

В зависимости от типа лидара могут фиксироваться до пяти отражений от наземных объектов для каждой линии визирования. Т.е. если на пути распространения лазерного луча он сталкивается с неполным препятствием, то часть энергии импульса отражается, а другая распространяется дальше вдоль линии визирования. Такая возможность способствует получению более информативных лазерно-локационных данных, так как для одного излученного импульса имеется несколько вернувшихся. Так, даже один импульс может принести множественные отклики сразу от нескольких значимых компонентов сцены: первые отклики будут получены за счет отражений от листвы растительности, проводов и опор ЛЭП, кромок зданий, а последний отклик, как правило, соответствует поверхности земли или другой сплошной поверхности, являющейся абсолютным препятствием на пути распространения лазерного импульса. Кроме поверхности земли, примером такого «абсолютного» препятствия может выступать крыша здания.

По показателям точности все составляющие источники геопространственных данных в схеме лидара достигли взаимосогласованного уровня (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Показатели точности основных структурных компонентов
типового воздушного лидара к началу 90-х годов XX века

Определяемый параметр	Источник	Точность
Пространственные координаты носителя	GPS	8-10 см
Наклонная дальность	Лазерный дальномер	10-15 см
Ориентация носителя	Инерциальная система	1-2 мрад. (ошибка позиционирования 15-30 см при высоте съемки 300 м)

В настоящее время различают две формы представления лазерно-локационных изображений:

- 1) дальномерную;
- 2) интенсивности отраженного импульса.

Представленное деление в равной степени применимо как к воздушным так и к наземным лазерно-локационным данным. Соответствующие примеры приведены на рисунках 2.15, 2.16.

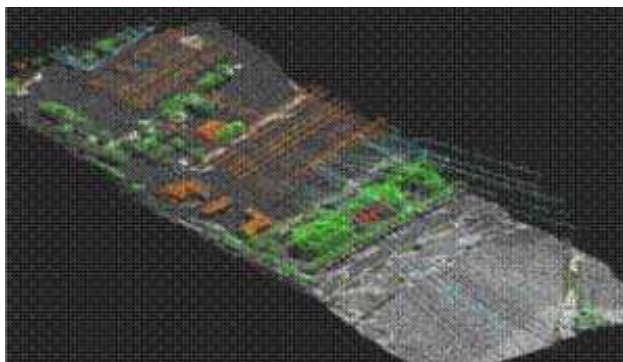


Рис. 2.15 Лазерно-локационное изображение в дальномерной форме

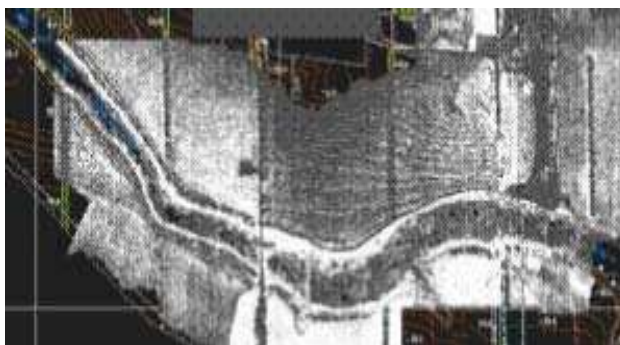


Рис.2.16. Лазерно-локационное изображение в форме интенсивности

Дальномерная форма представления соответствует распределению в координатном пространстве трехмерного облака лазерных точек. Термин лазерная точка используется здесь и в дальнейшем для обозначения единичного первичного лазерно-локационного измерения. Т.е. важнейшими численными параметрами, характеризующими каждую лазерную точку, являются значения пространственных координат X_p , Y_p , Z_p в некоторой заранее заданной системе координат. Распределение лазерных точек образует пространственный образ объекта съемки, который доступен визуальному анализу, проведению пространственных измерений и применению вычислительных методов геоморфо-логического анализа. Такой образ и составляет то, что принято называть лазерно-локационным изображением в дальномерной форме.

Наряду с пространственными координатами точки объектового пространства, вызвавшего отражение лазерного импульса, современные лидары способны регистрировать интенсивность отраженного импульса I , т.е. значение энергии импульса, вернувшейся на приемник излучения. Эта доля зависит от многих факторов, среди которых двунаправленная спектральная отражательная способность объекта, фактическое значение дальности, величины пропускания, рассеивания и собственного излучения атмосферы и другие параметры. Однако с практической точки зрения важно то, что лазерно-локационное изображение в форме интенсивности по своим информационным свойствам чрезвычайно близко к естественным черно-белым фотографиям (аэрофотоснимкам в случае воздушного при-

нения), что позволяет успешно использовать их для целей визуального распознавания объектов и камерального дешифрирования даже без привлечения традиционных аэрофотосъемочных данных.

Для того, чтобы закончить формальное описание лазерно-локационных данных, набор численных параметров X_p, Y_p, Z_p, I , характеризующих каждую лазерную точку дополняется значением t - временем регистрации данной лазерной точки. В результате появляется возможность формально определить такое понятие, как набор лазерно-локационных данных, а именно:

$$L = \{X_{pi}, Y_{pi}, Z_{pi}, I_i, t_i\} \quad I = 1, \dots, N, \quad (2.5)$$

где L - весь рассматриваемый набор лазерно-локационных данных, N - общее количество лазерных точек в наборе L .

Геофизические методы исследования земной коры

В прямых задачах геофизики для простых физико-геологических моделей (ФГМ) (одномерные среды, когда физические свойства меняются в одном направлении, например, горизонтально-слоистая среда, некоторые двумерные или трехмерные, например, длинный цилиндр или шар в однородной среде) имеются аналитические связи между Π_a и Π_o . Для более сложных ФГМ, близких к реальным, определение Π_a по Π_o производится приближенными численными методами. Однако практически все решения настолько сложны, что даже с помощью компьютеров можно получить их далеко не для всех ФГМ.

Решение обратных задач чаще всего проводится методом сравнения. Сущность его заключается в том, что экспериментальные кривые, графики или карты аномальных параметров последовательно сравниваются с соответствующими графическими материалами, рассчитанными в ходе решения прямой задачи на компьютерах для априорных (до опыта) ФГМ. Они выбираются в ходе ОГД и качественной (визуальной) интерпретации, когда на графически представленных аномальных полях выявляются аномалии, коррелируются аномалии и сопоставляются со всей имеющейся геолого-геофизической информацией. Меняя параметры модели (физические свойства и геометрические характеристики) и проводя расчеты прямых задач в автоматическом или диалоговом режиме работы на компьютере, добиваются наилучшего совпадения экспериментальных и теоретических данных. Параметры совпадающей теоретической модели, называемой апостериорной (после опыта) ФГМ, считаются наиболее вероятными для аппроксимации разведываемого объекта (Π_o).

Математическое решение прямых задач, т.е. определение параметров физического поля по известным физическим свойствам, размерам и форме геологических объектов, хотя и сложно, но однозначно. Вместе с тем одно и то же распределение параметров физического поля может соответствовать различным соотношениям физических свойств и размеров геологических объектов. Иными словами, математическое решение обратной задачи геофизики, т.е. определение размеров геологических объектов и свойств слагающих их пород по наблюдаемому полю, не только значительно сложнее, но и, как правило, неоднозначно. Это объясняется некорректностью обратных задач математической физики, когда малым изменениям Π_a могут соответствовать большие изменения Π_o .

Решение обратных задач (ОЗ) и обработка геофизических данных (ОГД) составляют самый ответственный цикл геофизических исследований - интерпретацию, или истолкование, результатов, т.е. восстановление физико-геометрических параметров объектов (Π_o) по создаваемым ими аномалиям (Π_a). Интерпретация геофизических данных проводится в рамках ФГМ и дает некоторое эквивалентное решение, которое в неблагоприятных геолого-геофизических условиях, например, для объектов малых размеров, расположенных на большой глубине, может резко отличаться от истинного. Для повышения точности геофизической интерпретации необходимо иметь дополнительную информацию:

результаты нескольких геофизических методов, опорные скважины, данные ГИС в них и др.

Наконец, заключительным этапом геофизического процесса, конечной целью исследований является геологическая интерпретация (ГИ) или обращение физико-геометрических параметров объекта ($\Pi_0 = \text{ФС} + \text{ГФХ}$) в геолого-геометрические ($\Pi_r = \text{ГС} + \text{ГГХ}$). Если перевод геометрических характеристик, полученных в результате геофизических исследований (ГФХ), в геологические (ГГХ) понятен, хотя и производится с разными погрешностями, то обращение физических свойств (ФС) выявленных объектов в геологические (ГС) - проблема очень сложная. Ее решение проводится в рамках петрофизики, т.е. научной дисциплины, находящейся на стыке петрологии и физики горных пород, предназначенной устанавливать теоретические, эвристические и статистические связи между ФС и ГС. Трудности здесь прежде всего в том, что если ФС выражается количественно (хотя и с погрешностями), то ГС далеко не всегда можно формализовать в виде чисел.

Основными геологическими свойствами являются: литология (Л), структурно-текстурное строение (С-Т), флюидонасыщенность (Ф), характеризующие соответственно минеральный и петрографический состав твердой среды, объем, характер строения пустот, пор, трещин и прочность пород; содержание в них воздуха (газа), нефти, воды.

Литология пластичных и рыхлых осадочных пород численно может быть выражена, например, в виде арифметического ряда чисел: от $L = 1, 2, 3$ для тяжелых, средних, легких глин, далее таких же суглинков (4, 5, 6), супесей (7, 8, 9), песков (10, 11, 12), а также галечников (13) и валунов (14). В этом ряду L пропорциональна среднему диаметру твердых частиц (d_{cp}), который является основным диагностическим признаком пластичных и рыхлых осадочных пород.

Пустотность породы может быть выражена через пористость и трещиноватость, т.е. отношение объема пор и трещин к объему твердой фазы ($N = V_n / V_{mf}$).

К структурно-текстурным особенностям породы относятся деформационно-прочностные свойства: модуль деформации (E_{def}), предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж}$) и др.

Флюидонасыщенность можно охарактеризовать через коэффициенты газо-, нефте-, водонасыщенности, или отношения объемов этих фаз к объему всей породы (K_g, K_p, K_v), коэффициенты фильтрации (K_f), проницаемости (K_{μ}) и др.

Физико-геологические связи многофакторны, поэтому их лучше всего определять с помощью многомерной корреляции. С этой целью для любого геологического свойства изучаемого района надо получать уравнение многомерной связи, называемое уравнением регрессии, с рядом геофизических свойств. Например, коэффициент нефтенасыщенности можно определить как

$$K_n = aV_p + b\rho + c\eta, \quad (2.6)$$

где a, b, c - коэффициенты, которые находятся в ходе эталонирования (обучения) на участках с известными K_n , скоростями продольных волн (V_p), удельными электрическими сопротивлениями (ρ) и поляризуемостями (η) нефтеносных пород изучаемого района. По одному геофизическому свойству можно пытаться определить ряд геологических с помощью одномерных уравнений линейной связи. Однако надежность таких расчетов невысока.

Таким образом, геофизические исследования представляют собой последовательность операций:

$$PP \rightarrow OGD \rightarrow OZ \leftarrow GI, \quad (2.7)$$

позволяющую получить цепочку соответствующих параметров:

$$P_n \rightarrow P_a \rightarrow P_0(\Phi C + \Gamma \Phi X) \rightarrow P_r(\Gamma C + \Gamma X). \quad (2.8)$$

Такая последовательность геофизических исследований с набором информативных параметров разной природы называется информационной моделью геофизики.

Каждая из четырех операций геофизического процесса характеризуется своей погрешностью, зависящей от ряда факторов. Общая погрешность наблюдений равна сумме погрешностей, т.е. складывается из погрешностей наблюдений (δ_n), процедур обработки ($\delta_{OГД}$), решения обратной задачи ($\delta_{OЗ}$) и геологической интерпретации ($\delta_{ГИ}$). Погрешности наблюдений и обработки наиболее управляемы, взаимопогашаемы. Погрешности $\delta_{OЗ}$ останутся большими, даже если свести к минимуму погрешности наблюдений и обработки, так как в этом случае перед геофизиками стоит труднопреодолимая некорректность решения обратной задачи. Большие ошибки в $\delta_{ГИ}$ будут, если геологическое свойство определяется только по одному геофизическому параметру.

Поэтому комплексирование методов и повышение точности решения OЗ за счет использования более точных ФГМ, все более мощных компьютеров, использования методов регуляризации некорректных задач (уменьшение неоднозначности) и других приемов является условием повышения точности геофизических исследований. Вместе с тем лишь при полнейшем использовании всей геологической информации, когда геологическое истолкование проводится геофизиками и геологами совместно, можно ожидать наибольшего эффекта в изучении недр Земли.

Существуют различные виды классификации геофизических методов исследования земной коры по:

1. используемым полям (грави-, магнито-, электро-, сейсмо-, термогеофизика и ядерная геофизика);
2. технологиям и месту проведения работ (аэрокосмические, полевые, акваториальные, подземные методы и геофизические исследования скважин);
3. прикладным, целевым направлениям и решаемым задачам (глубинная, региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика);
4. видам деятельности (теоретическая, инструментальная, экспериментальная, вычислительная и интерпретационная геофизика).

Особое место в геофизике занимают геофизические исследования скважин (ГИС), отличающиеся от прочих геофизических методов специальной аппаратурой, техникой проведения наблюдений и имеющие большое прикладное значение при документации разрезов скважин и их эксплуатации при добыче нефти и газа.

Как отмечалось выше, верхние оболочки Земли являются предметом исследования не только геофизики, но и других наук: геологии со всеми разделами, геохимии, географии и др. Геофизические методы исследования, базируясь на этих науках, являются, прежде всего, геологическими. Вместе с тем, давая другим наукам о Земле всевозможную информацию, они изменяют сам характер геолого-разведочных работ. О большой роли геофизики говорит, например, такой факт: треть ассигнований и четверть специалистов в геолого-разведочных организациях связаны с геофизикой. Вместе с тем важнейшим методологическим принципом, под которым понимается теория рациональной деятельности, для геофизической разведки является комплексирование: межметодное геофизическое (применение хотя бы двух-трех из перечисленных методов геофизики), разноуровневое (аэрокосмические, аквально-полевые, подземно-скважинные наблюдения), междисциплинарное (использование геологической, гидрогеологической, биологической, экологической, медицинской и другой информации). Методика комплексных исследований характеризуется стадийностью (переходом от простых методов к более трудоемким, от мелких масштабов к крупным), выбором типовых комплексов для определенных условий и решаемых задач, переходом к рациональным, экономически обоснованным методам решения конкретных задач. Теория комплексной интерпретации на базе компьютерных технологий разрабатывается в рамках вычислительной геофизики или геофизической информа-

тики. Цель комплексной интерпретации сводится к достижению однозначности геологических выводов путем выбора, анализа, оптимизации ФГМ.

Возрастание роли геофизики в связи с увеличением глубин и сложности разведки месторождений ведет не к замене геологических методов геофизическими, а к рациональному их сочетанию, широкому использованию всеми геологами данных геофизики. Единство и взаимодействие геологической и геофизической информации - руководящий методологический принцип комплексирования наук о Земле. Объясняется это тем, что возможности каждого частного метода геологоразведки (геологическая съемка, бурение, проходка выработок, геофизика, геохимическая разведка и др.) ограничены. В любом случае геофизика облегчает разведку глубокозалегающих полезных ископаемых, особенно в труднодоступных районах, а также изучение геологической среды с инженерными и экологическими целями. Сближение и совместное использование геологической, геофизической и геохимической информации - единственно разумный и экономически целесообразный путь изучения недр.

В настоящей работе рассмотрены особенности геолого-геофизического комплексирования как в общем случае, так и применительно к таким видам прикладной геофизики, как глубинная, региональная, разведочная, инженерная и экологическая. Первые четыре вида прикладной геофизики существуют давно, достаточно хорошо разработаны и неоднократно рассматривались в учебниках и учебных пособиях. Экологическая же геофизика, предназначенная для изучения структурных нарушений, химического и физического загрязнения природной среды, представляет собой новый научно-прикладной раздел геофизики. Основы экологической геофизики заложены в сформировавшихся методах прикладной геофизики, поскольку экологические аспекты присутствуют в глубинной, региональной, разведочной и особенно инженерной геофизике.

2.4. Мониторинг околоземного пространства

Цели и задачи

Понятие мониторинга окружающей среды как основной составляющей любой экологической экспертизы, вопросов охраны окружающей среды и методов ее рационального использования весьма широко трактуется различными авторами (*Кормилицын и др., 1994; Коробкин, Передельский, 2000; Петров, 1997; Протасов, 1997; Реймерс, 1990; Федоров, Гильманов, 1980; Шаповалов, 1999 и т.д.*). Анализ различных подходов к этому понятию позволяет дать некоторое общее определение мониторинга окружающей среды.

Мониторинг – (лат. *monitor* – надзирающий). Наблюдение и непрерывная (квази-непрерывная) оценка состояния природной среды под влиянием антропогенных воздействий с целью рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Это определение можно положить в основу понятия мониторинга ОКП (*Муртазов, 2001- 2004*).

Мониторинг околоземного космического пространства - наблюдения и постоянный контроль состояния, естественного и антропогенного загрязнения; выработка методов оценки физического состояния околоземного космического пространства как части природной среды. Разработка прогноза возможных последствий возрастающей антропогенной нагрузки на околоземное пространство с целью как его охраны, так и предотвращения отрицательного воздействия на земную биосферу.

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

По мнению автора данной работы, 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.

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 (*Кокоуров, 2003*).

К факторам, определяющим космическую погоду, относят вариации космических лучей, то есть изменения в пространстве и во времени потока космических лучей галактического и солнечного происхождения, непрерывно бомбардирующих земную атмосферу. На поверхности Земли интенсивность космических лучей зависит от температуры и давления воздуха, широты пункта наблюдения и состояния геомагнитного поля, электромагнитной обстановки в Солнечной системе и физических условий в Галактике. В соответствии с этим вариации космических лучей, обусловленные изменением этих факторов, делят на три класса. Вариации I и II классов (метеорологического происхождения и обусловленные изменениями магнитного поля Земли) с помощью специальной методики могут быть исключены из данных наблюдений, что позволяет в чистом виде находить вариации III класса, т.е. вариации первичных космических лучей.

К III классу вариаций относятся, в частности, внезапные мощные возрастания потока космических лучей, связанные с солнечными вспышками. Амплитуда вариаций первичных космических лучей зависит от энергии частиц и напряженности межпланетных магнитных полей. Большинство вариаций III класса (периодические 11-летние, 27-дневные, солнечно-суточные, а также эффект Форбуша и др.) обусловлено «выметанием» космических лучей из Солнечной системы неоднородными магнитными полями («магнитными облаками»), движущимися от Солнца вместе с солнечным ветром.

Для примера можно привести данные о состоянии солнечной и геофизической активности (табл. 2.6), которая ежедневно распространяется *NOAA Space Environment Center Boulder, Colorado, USA*.

Таблица 2.6

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 России основные данные о состоянии «космической погоды» аккумулируются в институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН. На рис. 2.17 показана Интернет-страница ИЗМИРАН.



**Институт земного
магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова
Российской Академии наук
Центр прогнозов геофизической
обстановки**

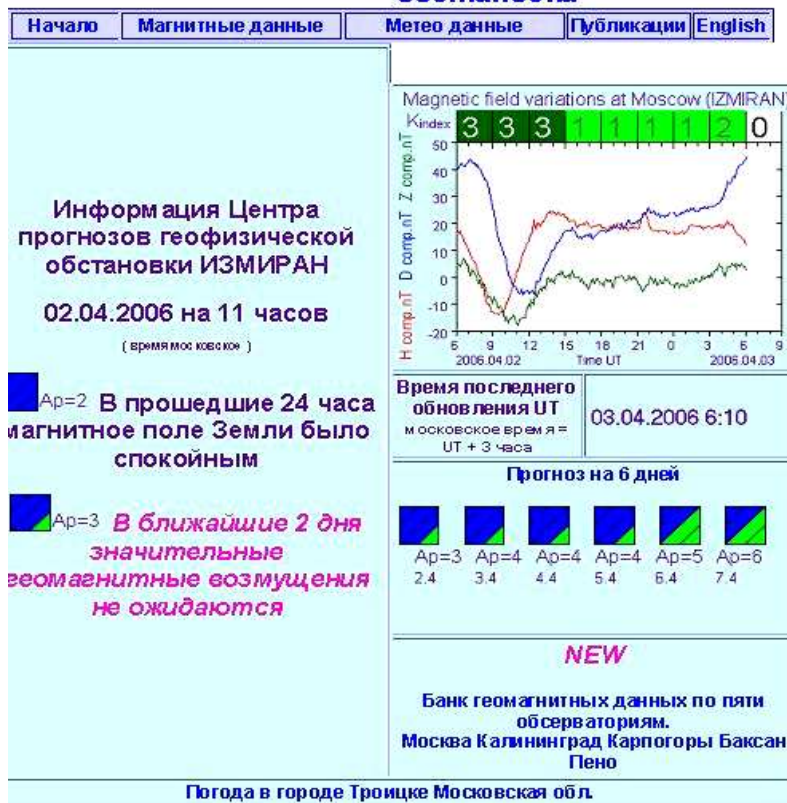


Рис. 2.17. Интернет-страница ИЗМИРАНа с данными, характеризующими «космическую погоду»

Техногенная засоренность ОКП достигла к началу XXI в. весьма значительных величин, что привело к созданию службы мониторинга техногенной космической обстановки средствами наблюдения наземного и космического базирования. Эта же служба позволяет следить и за естественным космическим мусором в ОКП.

Так как фрагменты космического мусора дрейфуют на своих орбитах под влиянием неравномерности гравитационного поля, солнечного ветра и магнитных бурь, требуется постоянное обновление сведений о космическом мусоре и ведение постоянно корректируемого банка данных о нем. До настоящего времени такого банка, подобного банку об ИСЗ, пока не существует.

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

В нижней части ОКП на высотах 200-1000 км процессы, связанные главным образом, с солнечной активностью, являются основным возмущающим фактором, влияющим на движение космических аппаратов, фрагментов техногенного и естественного мусора (Касименко, Микуша 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 актив-

ности. 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).

В связи с появлением в ОКП в XX веке большого количества техногенных тел (искусственных космических объектов и техногенных отходов) было введено понятие техногенной космической обстановки, мониторинг которой осуществляется службами контроля космического пространства.

Техногенная космическая обстановка – целостное, включающее в себя множество техногенных космических тел, образование, состояние которого определяется условиями нахождения этих тел в ОКП, и факторами иного рода, со свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных техногенных тел и 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 (рис.2.18).



Рис. 2.18. Компоненты 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 радара *Haystack*.

Модели оценки пространственно-временного распределения, включающие в себя также модели актуализации, подразделяются на глобальные (универсальные по области применения) и локальные, в частности, модели геостационарной области. В основе координатных моделей (*Назаренко, 2001; Хуторовский, 1995*) лежит детерминированный подход с определением опасных сближений контролируемых техногенных тел с контролируемыми полезными грузами, определяемых их относительной скоростью, временем появления событий, вероятностью столкновения.

Локальные модели геостационарной орбиты относительно свойства контролируемости ТК-тел инструментальными средствами делятся на координатные и некоординатные. Скорости относительного движения здесь не превосходят 100м/с и их столкновения не приводят к взрывным эффектам.

Таким образом, перечисленные модели приводят к моделям оценки состояния техногенной космической обстановки, что в общем отвечает задачам мониторинга техногенной составляющей ОКП.

По способу осуществления мониторинг ОКП как метод астрофизических исследований подразделяется на прямой и дистанционный.

К прямому мониторингу относятся все способы контроля состояния ОКП, которые можно осуществить при проведении непосредственного определения параметров околоземного пространства аппаратурой, установленной на космических объектах.

Так, например, для контроля двух типов не доходящего до поверхности Земли солнечного излучения (жесткого УФ, рентгеновского и корпускулярного), запущены патрульные ИСЗ «КОРОНАС» (Россия), “GOES” (USA), “YOHKOH” (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 галактических 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 изучения 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. протр., 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 использо-

ванием 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.

Следует отметить, что проблема определения экологических границ человеческой деятельности в околоземном пространстве весьма актуальна (*Физика косм. простр.*, 1997).

Анализ возможностей современных средств мониторинга загрязнения околоземного космического пространства

Процессы, протекающие в ОКП, законы движения в нем тел различного происхождения определяют, соответственно, и методы создания и функционирования систем экологического мониторинга в этой области окружающей среды. Методология создания таких проблемно-ориентированных систем базируется на положениях системного анализа, основными принципами которого являются (*Шаповалов, 1999*):

- системное единство, предусматривающее целостность системы в целом, ее подсистем, включая систему управления;
- информационное единство и совместимость, обеспечивающие единство информационного пространства, структурных связей между подсистемами и их функционирования;
- комплексность и инвариантность, состоящие в том, что компоненты, элементы и звенья системы в целом и подсистем должны быть связанными и универсальными;
- включение и развитие, определяющие, что требования к системе формулируются со стороны системы более высокого уровня, причем предусматривается возможность совершенствования и дальнейшего развития элементов и связей между ними.

В самом общем виде система мониторинга окружающей среды – интегрированная многоуровневая иерархическая система с соответствующей информационной, аппаратурно-методической и контрольно-измерительной базой.

Особенности мониторинга объектов в ОКП привели к тому, что экологический мониторинг ОКП базируется на методах и аппаратуре околоземной астрономии, радиоастрономии, радиолокации, космических исследований.

На рис. 2.19 (*Муртазов, 2004*) показаны окна прозрачности атмосферы и ионосферы, наличие которых определяет основные требования к методам мониторинга 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.

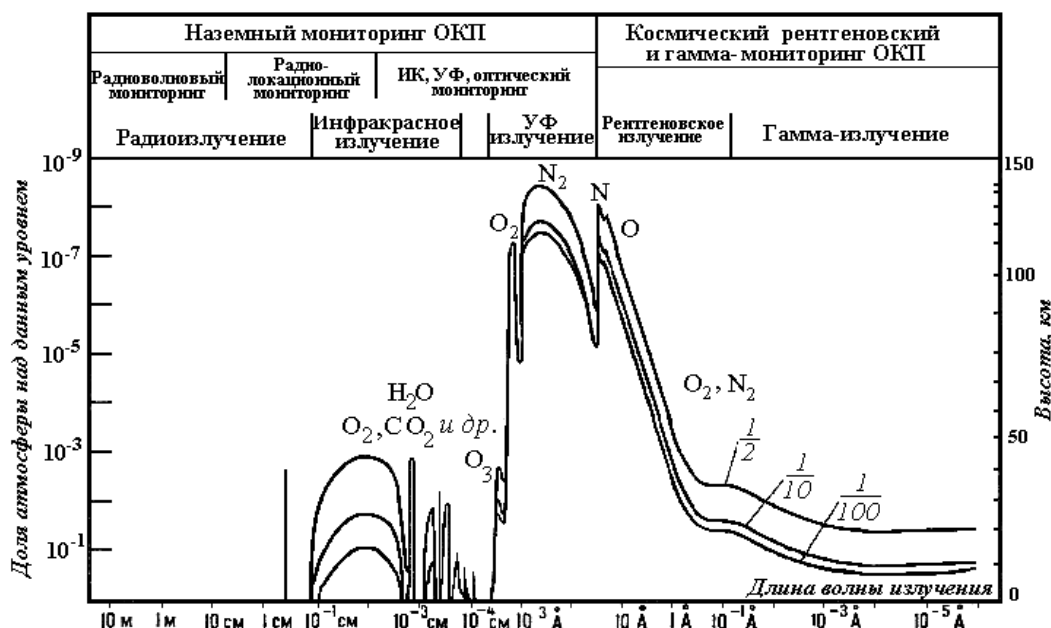


Рис. 2.19. Классификация видов мониторинга ОКП по спектру электромагнитных излучений

В УФ-области спектра излучение поглощается в основном слоем 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 $0,5 \text{ \AA}$). 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 декаметровом диапазоне радиодиапазона непрозрачность атмосферы определяется отражением радиоволн от ионосферы и зависит от ее состояния и состояния нижних слоев магнитосферы.

Таким образом, выбор средств мониторинга ОКП определяется пропусканием атмосферой 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.

К наземным средствам мониторинга состояния нижней части ОКП - ионосферы относятся, главным образом, радары некогерентного рассеяния (*Шпынев, 2005*).

Если первые радиолокаторы работали в диапазоне коротких волн КВ, то для радиолокации в ближнем космосе потребовалось перейти к частотам, для которых ионосфера Земли была бы прозрачна. Поскольку критическая частота максимума ионизации редко превышает значения 11-13 МГц, рабочие частоты радаров выбирались в диапазоне 40 МГц и выше. На этих частотах отражения от неоднородностей ионосферы в средних широтах, где расположена большая часть средств наблюдения, практически отсутствуют, следовательно, начиная с частоты 40 МГц, можно было конструировать радиолокаторы для наблюдения за космическими объектами. Верхняя частота диапазона работы РЛС ограничивается частотами 1-2 ГГц, поскольку при длине волны менее 2-3 см, сигнал испытывает сильное рассеяние на турбулентностях нейтральной атмосферы. Кроме указанных ограничений, на работу радиолокаторов влияют естественные радиоисточники: Солнце, галактический шум, отдельные звездные радиоисточники (например, из созвездия Лебедя и крабовой туманности). В разных диапазонах длин волн мощность ради шума разная, она максимальна в КВ диапазоне и существенно падает на частоте выше 200 МГц.

Поскольку требуемая дальность радиолокации составляет тысячи, и десятки тысяч километров, импульсная мощность РЛС достигает 5-6 МВт.

По мере развития космической техники встали вопросы о свойствах околоземного пространства и о возможности проводить его диагностику радиофизическими методами. Этот интерес имел не только прикладной, но и чисто фундаментальный научный характер. Хотя диагностика ионосферы в 50-х годах уже активно проводилась, наземные КВ ионозонды давали информацию только о концентрации электронов ниже главного ионосферного максимума. Изучение других характеристик среды, таких как температура, ионный состав, скорости дрейфа начало проводиться с помощью ракет в конце 50-х, начале 60-х годов

В процессе исследования свойств ионосферы оказалось, что электроны плазмы не являются свободными, а их движение контролируется более тяжелыми ионами. После этого в 1961-1967 годах последовал ряд научных работ, в которых была разработана теория термального рассеяния, которое называли некогерентным, и метод получил название метода некогерентного рассеяния (НР).

В отличие от КВ - зондирования, где используется сигнал, отраженный от ионосферы, основная мощность при измерении сигналов НР проходит сквозь ионосферу, и назад возвращается очень слабый сигнал, для регистрации которого используется специальная обработка и длительное статистическое усреднение. При этом метод НР не ограничен высотами ниже максимума ионизации, и кроме электронной концентрации позволяет измерять температуры электронов и ионов, скорость дрейфа плазмы вдоль направления зондирования и ионный состав. Современные знания о структуре ионосферы и ее динамике во многом основаны на данных радаров НР, полученных начиная с 60-х годов.

На рис 2.20. представлена современная сеть радаров НК, при помощи которой исследуются параметры различных слоев ионосферы (*Шпынев, 2005*).

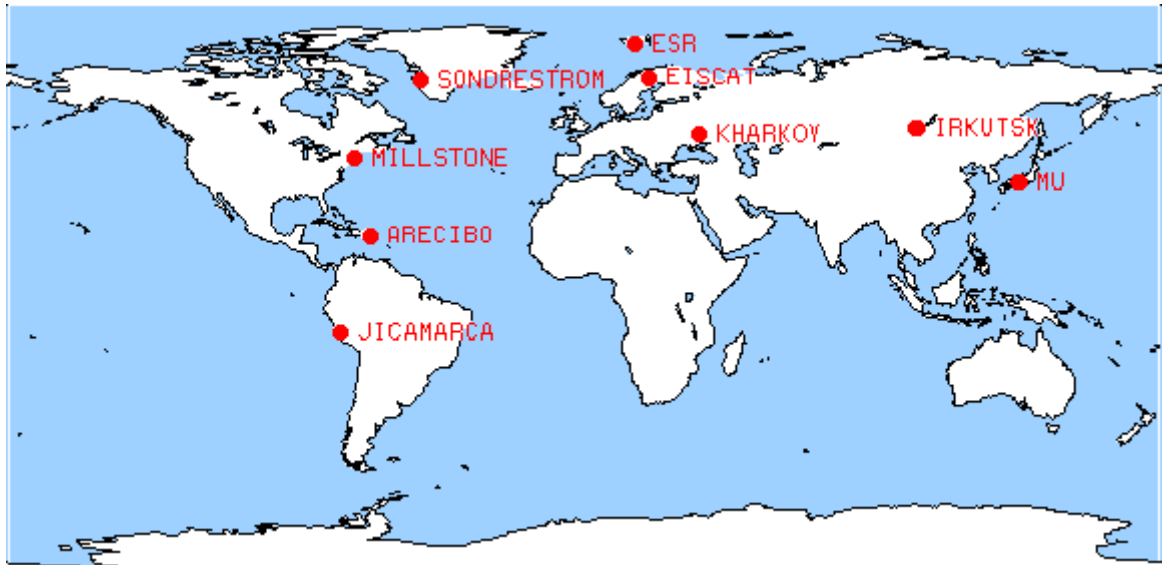


Рис. 2.20. Карта действующих радаров НР

К средствам мониторинга космического мусора в ОКП относятся радиолокационные, лазерные и оптические устройства, позволяющие вести наблюдения вплоть до геостационарных орбит (рис.2.21 - *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 общем случае при работе одной антенной мощность P_0 принятого от космического объекта сигнала определяется из уравнения (*Бронштэн, 1979*)

$$P_0 = P * \frac{GA\rho\pi R^2}{(4\pi r^2)^2}, \quad (2.9)$$

где P – излучаемая мощность, A – эффективная площадь антенны, R – эффективный радиус объекта, r – расстояние до него, G – коэффициент усиления передающей антенны, равный

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}, \quad (2.10)$$

λ – длина волны излучения, ρ и g – коэффициент отражения объекта на этой длине волны и коэффициент направленности отраженного излучения. Для $\lambda=12,5$ см $\rho g=0,1$.

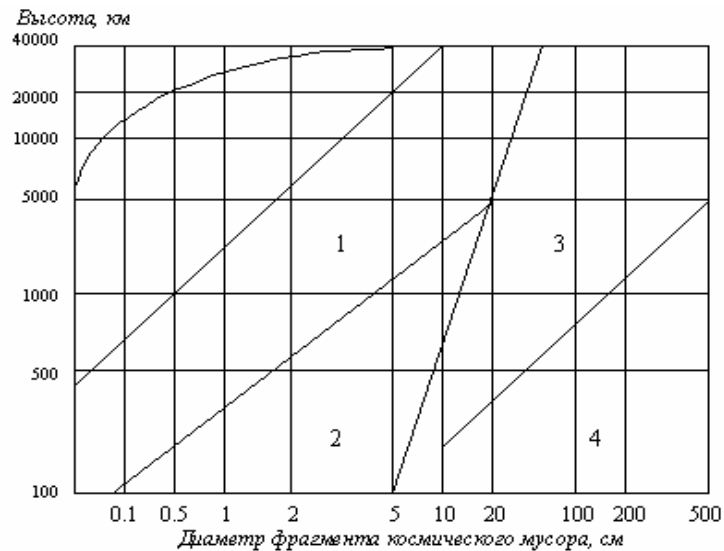


Рис. 2.21. Возможности наземных средств мониторинга ОКП

При достаточной мощности радиолокатора его чувствительности достаточно для обнаружения сигнала, отраженного объектом размерами много меньше длины волны. Эффективная площадь σ обратного рассеяния объекта, определяющая интенсивность отраженного сигнала, пропорциональна шестой степени его диаметра. Например, для металлической сферы радиуса R эта величина определяется как $\sigma = 9\pi * (\frac{2\pi R}{\lambda})^4 * (R)^2$. Для случая металлической сферы радиусом много больше λ эффективная площадь обратного рассеяния равна ее поперечному сечению πR^2 и не зависит от λ .

Минимальный размер наблюдаемых объектов при радиолокации с использованием двух антенн оценивается из основного уравнения радиолокации (Ржигза, Зайцев А.Л., 1998) для мощности отраженного сигнала на входе приемника

$$s_{\text{ex}} = \frac{P * A_1 * \sigma * A_2}{4 * \pi * r_1^2 * r_2^2 * \lambda^2}, \quad (2.11)$$

где A_1 и A_2 – эффективные площади излучающей и приемной антенн, r_1 и r_2 – соответственно расстояния от них до наблюдаемого объекта.

Средняя мощность шума, приведенная ко входу приемника

$$s_{\text{ш}} = \frac{kT_{\text{ш}}}{\theta}, \quad (2.12)$$

где k – постоянная Больцмана, $T_{\text{ш}}$ – шумовая температура антенны и приемника, θ – величина обратная полосе пропускания приемника (время когерентного накопления сигнала).

Отсюда: отношение мощности принятого сигнала к средней мощности шума $s_{\text{ex}} / s_{\text{ш}}$, а также эффективная площадь обратного рассеяния определяют предельные размеры объекта, который можно обнаружить радиолокационным методом (табл. 2.7)

Рассматриваются требования к размещению и техническим характеристикам РЛС, предназначенных для решения основных задач радиолокации космических объектов: обнаружения КО с неизвестными орбитами, подтверждения и уточнение орбит, измерения радиолокационных сигнатур КО (в т. ч. получение радиоизображений) и измерения статистики потоков малоразмерных частиц космического мусора.

Задача наблюдения объекта в ОКП распадается на две стадии: стадию обнаружения и первоначального определения орбиты объекта и стадию сопровождения и уточнения его орбиты с использованием прогноза движения. Решение первой задачи при отсутствии априорных данных об орбите требует быстрого обзора больших областей пространства. Особенно жестким это требование является в отношении низкоорбитальных ИСЗ (диапазон высот от 200 до 2500 км). Радиолокатор должен не только зафиксировать наличие объекта, но и пронаблюдать его на некоторой дуге, чтобы определить угловую скорость движения и продолжить сопровождение вне барьера. Опыт проектирования средств наблюдения показывает, что выполнить эти требования могут только радиолокаторы с фазированными антенными решетками (ФАР). Эти РЛС обнаруживают цели в режиме обзора барьера, а затем сопровождают их в зоне электронного сканирования

Если рассчитывать на малоразмерные объекты с эффективной площадью радиоотражения $0,1 - 0,01 \text{ м}^2$, то получаются типичные параметры для РЛС такого класса. Для РЛС AN/FPS -85 службы контроля космического пространства США приводились значения средней мощности 300-700 кВт, диаметра приемной антенны 58,5 м, дальности по 1 м^2 – 8000 км. Эта дальность фактически не нужна, но избыток потенциала важен для наблюдения малоразмерных объектов в ОКП (Курикса, Шилин, 2002).

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.

Еще одно направление работ развивается ГАО РАН, где координируются радиолокационные исследования высокоорбитального космического мусора на базе больших антенн бывшей сети слежения за межпланетными космическими аппаратами. Украинская сторона облучает объекты с помощью передающей 70-м антенны в Евпатории, а российская сторона обеспечивает прием эхо-сигналов на РТ-64 в Медвежьих Озерах (Molotov, et al, 2004).

Российско-украинская радиолокационная система, состоящая из 70-метровой антенны и передатчика 6-сантиметрового диапазона со средней мощностью 150 кВт в Евпатории (рис. 2.22) и двух антенн ОКБ МЭИ до сих пор остается одним из основных средств контроля ОКП, которая и обеспечивает основную массу исследований в этой области.

Для мониторинга параметров солнечного ветра, орбит межпланетных КА, астероидов, космического мусора и ИСЗ применяют метод радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами – РСДБ. Основные принципы РСДБ заключаются в следующем. Космические объекты или явления наблюдаются по единой программе одновременно на нескольких радиотелескопах (антеннах), расположенных на расстояниях от нескольких десятков до многих тысяч километров друг от друга. Радиосигналы от объектов когерентно принимаются в заданном диапазоне частот высокочувствительными радиоприемниками, преобразуются на промежуточную частоту, затем требуемая полоса частот вырезается видеоконверторами в зависимости от спектра принимаемого радиосигнала, оцифровывается и записывается на какой-либо носитель. Последующая обработка позволяет получить как физические параметры межпланетной среды так и параметры движения объектов в Солнечной системе и ОКП (Молотов, 2006).

В период с 1969 по середину 2002 г. основные исследования тел Солнечной системы методом радиолокации проводились в США: астероиды главного пояса -75 (США); опасные астероиды – 107 (США), 3 – Европа и Россия; кометы – 6 (США). С использованием Российских, Украинской и общеевропейской сети радиолокаторов на базе крупных радиотелескопов мониторинг ОКП постепенно налаживается и на территории Евразии (Zaitsev A., 2002).

Таблица 2.7

Возможности современных систем РЛС

Параметры системы	Система 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

Сюда же входит радиотелескоп Р-70 в Уссурийске, который был построен в 1979 г., и использовался для радиоинтерферометрических наблюдений космических аппаратов, запущенных к комете Галлея в 1986 г.

К перспективным средствам получения некоординатной информации о телах различного происхождения в ОКП относится радар некогерентного рассеяния Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск), являющийся одним из главных геофизических инструментов России по контролю физического состояния ионосферы. Дистанционное зондирование в диапазоне частот 1 МГц-40 ГГц является наиболее эффективным методом мониторинга состояния ионосферной плазмы (*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). Разработанные в настоящее время двухпозиционные радиолокационные системы и высокопотенциальные РЛС сантиметрового диапазона (1 на рис. 4.5) могут быть использованы для регистрации космического мусора размером от нескольких мм до нескольких см в диапазоне расстояний до геостационарной орбиты.



Рис. 2.22. 70-м радиотелескоп Центра космической связи в Евпатории (фото автора)

Наземные лазерные локационные средства (2) 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 меньшей 1 см); совместную с Узбекистаном станцию на г. Майданак.

Современный лазерный локатор может проводить локацию даже не имеющих уголкового отражателя объектов в ОКП при условии достаточной точности наведения на них. То есть, оптический телескоп, который может дать такую точность, должен в перспективе иметь оптическую систему, позволяющую использовать его для определения дальности до обнаруживаемых объектов методом лазерной локации.

Однако, ввиду отсутствия статистической информации об отражательных свойствах поверхностей космического мусора в диапазоне частот излучения лазерных дальнометров, они не используются для непрерывного мониторинга ОКП.

Одним из основных средств мониторинга ОКП являются оптические наблюдения (3), 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 (Рыхлова, 1998).

Освещенность земной поверхности отраженным (рассеянным) астрономическим объектом (АО) излучением зависит от ряда причин. Без учета дополнительного освещения АО (искусственного) Землей и Луной монохроматическая освещенность, создаваемая ИКО на поверхности Земли, выразится как (Курьшев, Муртазов, 1985)

$$E_{\lambda}^{ико} = E_{\lambda} * \frac{a_{\lambda} * F(\varphi) * S}{d^2} * P_{\lambda}^{M(z)} * \eta_{\lambda}^{-1}(z), \quad (2.13)$$

где E_{λ} - монохроматическая освещенность АО Солнцем, d - его топоцентрическое расстояние, a_{λ} - альbedo поверхности АО, S - видимая освещенная площадь поверхности АО, $F(\varphi)$ - фазовая функция, определяемая структурой поверхности тела, P_{λ} - монохроматический коэффициент прозрачности атмосферы, $M(z)$ - атмосферная масса, η_{λ}^{-1} - пропускание атмосферы, определяемое теллурическим поглощением.

Из этого выражения следует, что для распознавания АО оптическими методами требуется определить параметры, характеризующие рассеяние света их поверхностями, т.е. a_{λ} и $F(\varphi)$. Если есть независимая база данных об оптических свойствах поверхностей естественных и техногенных АО, то задача распознавания их по результатам оптических наблюдений сводится к однозначной и определяется чувствительностью астрономической системы (исключая тем или иным образом помехи со стороны атмосферы).

В отличие от радио- и лазерной локации ОКП данные об оптических свойствах АО имеются: накоплена значительная информация об отражательных свойствах в оптическом диапазоне как материалов поверхностей искусственных космических объектов, из которых образуется техногенный космический мусор, так и поверхностей естественного космического мусора (Муртазов, 1994, 2000-2004). Это позволяет в ряде случаев идентифицировать техногенный и естественный мусор (фракции межпланетной пыли, осколков астероидов, метеорного вещества, искусственных космических аппаратов) по результатам сравнительного анализа многоцветных фотометрических наблюдений.

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. Однако, ввиду специфики оптических наблюдений объектов в ОКП, наибольшее развитие получила, главным образом, их *BVR*-фотометрия, оперативно осуществляемая с использованием ПЗС-приемников. Основная масса наблюдений производится в полосах *B* ($\lambda_m=440$ нм), *V* ($\lambda_m=550$ нм) и *R* ($\lambda_m=720$ нм) многоцветной фотометрической системы. *BVR*-мониторинг тел естественного и техногенного происхождения в ОКП позволяет производить их идентификацию (Murtazov, 2004), что пока недостижимо другими методами исследований.

К средствам оптического мониторинга ОКП можно в принципе отнести любой телескоп, с помощью которого можно обнаружить объект, произвести измерения его орбиты и оптических характеристик. Исследования объектов на низких орбитах при помощи крупных телескопов, имеющих параллактические и азимутальные монтировки, ввиду невозможности отслеживания ими быстро движущихся по небесной сфере объектов, не проводятся. В этих случаях при исследовании техногенного мусора в ОКП применяются

главным образом телескопы на монтировках, специально разработанных для наблюдений ИСЗ (низкие орбиты), различные модификации камер All-Sky (главным образом, при изучении метеорных потоков в ОКП). Исключение составляют наблюдения объектов на геостационарных орбитах.

Все эти методы образовали новую науку, занимающуюся мониторингом объектов естественного и искусственного происхождения в ОКП – околоземную астрономию (Багров, 2001).

Средствами, занимающимися поиском опасных астероидов еще задолго до попадания последних в ОКП являются: Паломарская служба инспектирования астероидно-кометных тел, Паломарская служба инспектирования астероидов, пересекающих орбиты планет, пункт поиска опасных астероидов на обсерватории Китт-Пик *Spacewatch*, англо-австралийская служба инспектирования опасных астероидов и т.д. В России и странах СНГ такими обсерваториями являются Крымская астрофизическая обсерватория, Специальная астрофизическая обсерватория РАН (Северный Кавказ), обсерватория астрофизического института Казахской АН. Эпизодическими исследованиями в этой области занимаются практически все университетские обсерватории России.

Основную роль в открытиях астероидов играет в настоящее время проект Массачусетского технологического института *LINEAR* (*Lincoln Near Earth Asteroid Research* – рис. 2.23), по которому с 1998 г. ведутся ПЗС-наблюдения опасных астероидов и объектов в ОКП.



Рис. 2.23. Метровый телескоп *GEODSS* системы *LINEAR*

К 2007 г. открыто около 4600 близко проходящих к Земле объектов (Near Earth Objects – NEOs), из них потенциально опасных (Potentially Hazardous Objects - PHOs) – около 850 (*AIAA Planetary Defense Conference. - George Washington University, March, 2007*).

На рис. 2.24 приведена динамика открытий опасных астероидов различными службами (*Near Earth Object Program*)

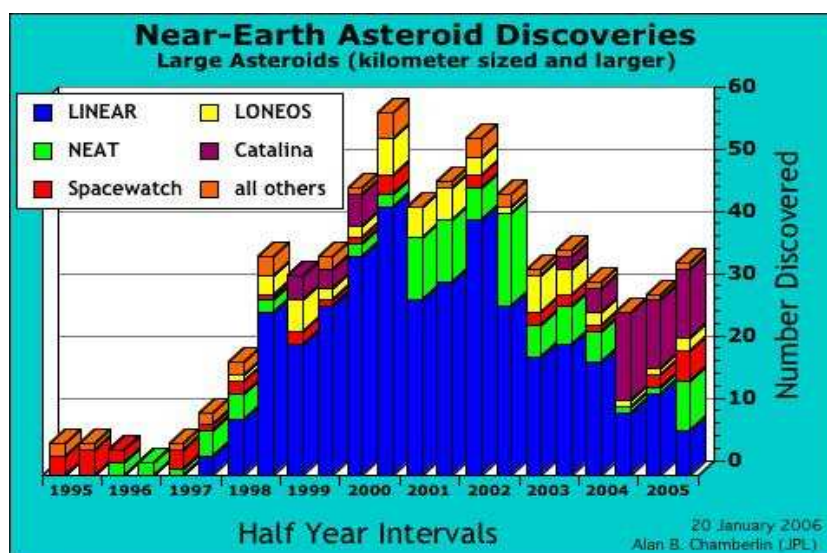


Рис. 2.24. Динамика открытий опасных астероидов различными службами

С 2005 г. начала работать Пулковская кооперация оптических наблюдений (Пул-КОН), в рамках которой организована протяженная сеть (рис. 2.25) оптических телескопов для выполнения координированных наблюдательных программ для решения научных и прикладных задач (космический мусор, астероиды, гамма-всплески).

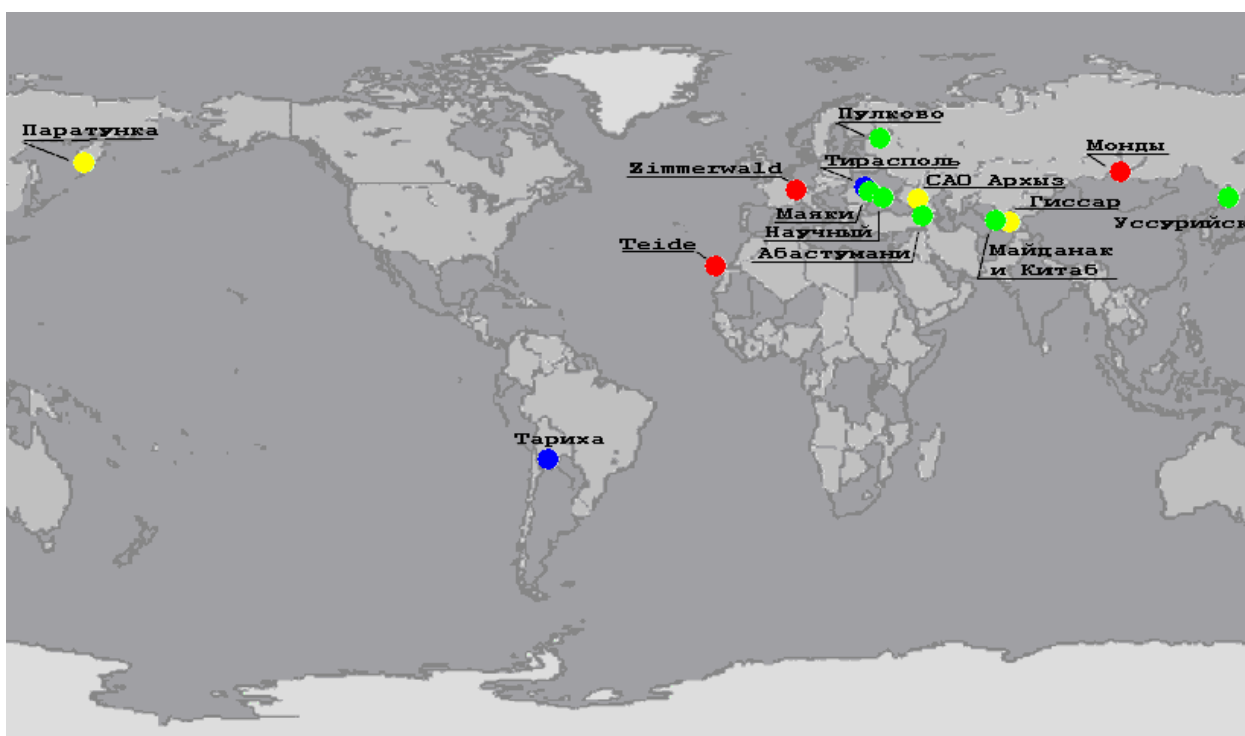


Рис. 2.25. Расположение пунктов оптических наблюдений космического мусора по программе ПулКОН (Молотов, 2007)

Особое место в мониторинге ОКП занимают службы контроля космического пространства РФ и США, проводящие радиолокационные, лазерные, оптические наблюдения всех видов техногенных объектов в ОКП и их полную каталогизацию.

Российский оптико-электронный комплекс обнаружения высокоорбитальных космических объектов «Окно» (рис. 2.26) расположен на территории Таджикистана и предназначен для автономного автоматического обнаружения космических объектов на высо-

тах 2.000 — 40.000 км, сбора по ним координатной и некоординатной (в основном, фотометрической) информации, расчета параметров движения и некоординатных признаков (Анисимов, Батырь, 2004, 2006).



Рис. 2.26. Оптико-электронный комплекс МО РФ «Окно»

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 рис. 2.21 показывает, что 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.

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.

Общая картина исследований техногенного состояния ОКП на период начала XXI века представлена на рис. 2.27 (Багров, 1995; Логинов, Пирогова, 2000). Глубина проводимых исследований разбита на пять уровней, от эпизодических наблюдений до полного мониторинга всех техногенных и естественных объектов в ОКП.

Весьма важно, что полного мониторинга не достигает ни один из методов исследования естественного и техногенного загрязнения ОКП в отдельности.

Близким к четвертому уровню, то есть случаю достаточно систематическим исследованиям близки координатные измерения параметров орбит объектов в геостационарной зоне оптическими методами исследование фотометрических параметров искусственных космических объектов и их обломков.

Периодическими исследованиями (соответствующими третьему уровню) являются радиолокационные измерения параметров орбит искусственных объектов и астероидов в ОКП, измерения положения объектов в ОКП при радиолокации в сантиметровом и миллиметровом диапазонах.

Таким образом, возможности современных наземных оптико-электронных и радиолокационных средств исследования ОКП используются не более чем на 40% и глубина

исследований не достигла самого высокого уровня - полного мониторинга всех техногенных и естественных объектов в ОКП.

Исходя из этого можно предположить, что достаточно высокие потенциальные возможности оптико-электронных систем для наблюдения объектов в ОКП не означают, что их использование должно идти до исчерпания технически возможных пределов. Исследования пылевой составляющей вещества в ОКП весьма эффективны при изучении их воздействия на специальные мишени и датчики или характера эрозии поверхностей возвращаемых аппаратов. Поэтому реальным пределом геометрических размеров изучаемых дистанционными средствами объектов будет тот, который соответствует частицам, способным разрушить мишень или вызвать разрушение работающий космический аппарат. Исходя из оценки баллистического эффекта от соударения с частицей на скорости 10 км/с этому пределу соответствует характерный размер 0,1 см.

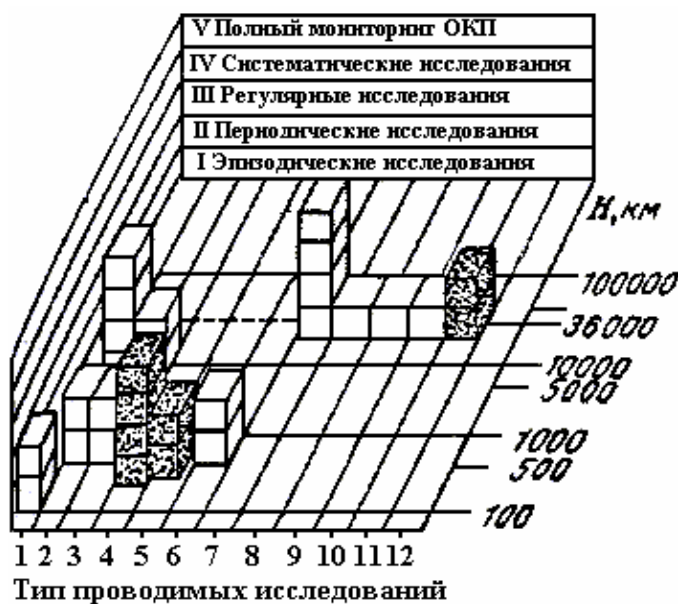


Рис. 2.27. Уровень исследований техногенного состояния ОКП с помощью наземных средств: 1-статистические методы; 2-координатные измерения параметров движения; 3-координатные измерения параметров вращения; 4-радиолокационные измерения параметров орбит в метровом и дециметровом диапазоне; 5-радиолокационные исследования в сантиметровом и миллиметровом диапазоне; 6-фотометрические методы; 7-спектральные методы; 8-поляризационные методы; 9-базисные фотометрические исследования; 10-базисная спектрометрия; 11-измерения с помощью двухпозиционных РЛС со сверхдлинными базами в международной интерферометрической сети; 12-базисная поляриметрия.

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 охватывают более 20-25% площади 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.

Задачу мониторинга космического мусора с размерами, меньшими 0,1-1 см решают системы контактной регистрации ударов на основе специальных датчиков. Функционирование таких датчиков основывается, по крайней мере, на четырех физических явлениях (*Логинов, Пирогова, 2000*). Это механическое замыкание двух расположенных один над другим электродов из металлической фольги, разделенных тонкой диэлектрической прокладкой, резкое увеличение электропроводности диэлектриков под действием развивающихся при ударе высоких давлений, пьезоэффект и быстрая деполяризация электрически поляризованных сред. 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*).

Для исследования плотности потока частиц космического мусора и степени воздействия его на различные материалы в часто используют пассивные датчики. Находившийся в ОКП с 1984 по 1990 г. КА *LDEF (Long Duration Exposure Facility)* был со всех сторон обшит панелями из металлов и пластика (рис. 2.28), которые исследовались после возвращения его на Землю.



Рис. 2.28. Космический аппарат LDEF

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 $1 \div 2 \text{ м}^{-2} \text{ год}^{-1}$, 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.

На основании анализа технических возможностей различных средств контроля техногенного состояния ОКП выработана общая структурная схема осуществления техногенного мониторинга ОКП на современном уровне (рис. 2.29) (Логинов, Пирогова, 2000). Основными источниками информации о космических объектах, техногенном (и естественном) мусоре в ОКП, их отражательно-излучательных характеристиках являются радиолокационные, оптические, инфракрасные и лазерные средства наземного и космического базирования, а также датчики прямого соударения. Результаты исследований накапливаются и систематизируются в автоматизированном банке данных о техногенном состоянии ОКП. В качестве базовой информации используются также результаты моделирования состояния ближнего космоса и процессов в нем.

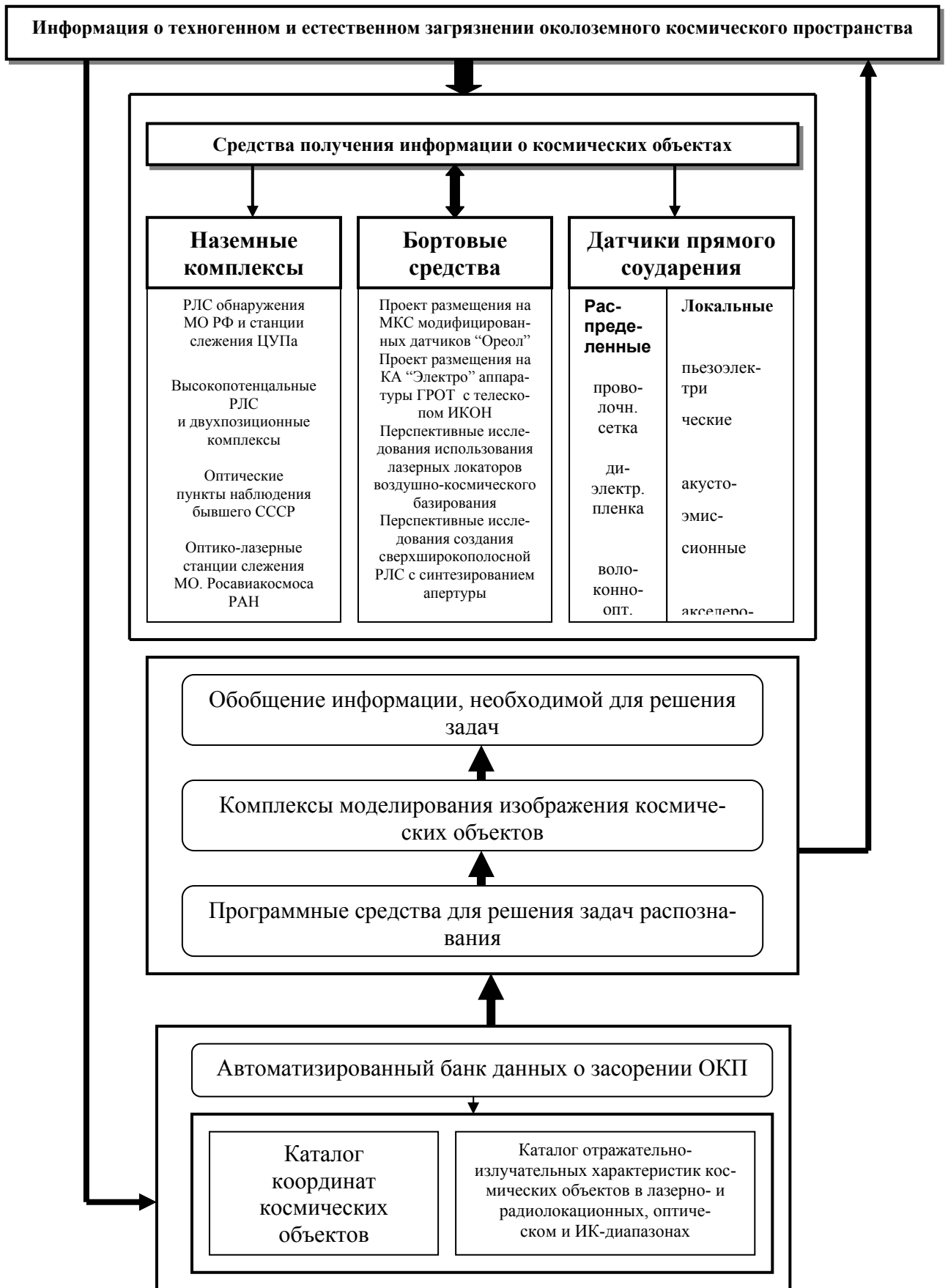


Рис. 2.29. Блок-схема организации мониторинга техногенного и естественного мусора в ОКП

2.5. Химические основы экологического мониторинга

(Кузнецов, 1999)

Экология, загрязнение окружающей среды, экологический мониторинг, экологическая химия - часто встречающиеся в наше время слова и сочетания, выражающие всеобщую озабоченность состоянием природной среды. Первопричина возникновения проблемы - обнаружение в экологических системах, прежде всего в биосфере, интенсивных и тревожных изменений, вызванных деятельностью человека, антропогенных изменений. Из большого числа вредных факторов отметим выброс в биосферу химически чуждых природе веществ, физически активных частиц, пыли, аэрозолей, повышение температуры биосферы, энергетическое загрязнение, физическое и биологическое воздействие на нее. Для оценки степени негативных изменений осуществляют экологический мониторинг - систему наблюдений и контроля за изменениями в составе и функциях различных экологических систем.

Экологический мониторинг - это серьезная и сложная проблема. Уровни его организации различны. Он может осуществляться в глобальном, национальном, региональном или локальном масштабах. Существует фоновый и импактный (уровень сильного локального загрязнения) мониторинг. В то же время изучение и контроль состояния окружающей среды включают исследование таких природных ресурсов, как разнообразные воды, атмосферный воздух, почвы, совокупность этих систем с точки зрения определения в них загрязняющих химических веществ, нарушающих сложившееся экологическое равновесие в природе. Здесь четко просматривается химическая сущность обсуждаемой проблемы: с этой точки зрения можно говорить и о химическом мониторинге. Без химического анализа здесь не обойтись. Поэтому в экологическом мониторинге активно используют различные химические, физико-химические, физические и биологические методы анализа. Речь идет о некоем глобальном химико-аналитическом исследовании с помощью различных методов аналитической химии - науки о методах анализа.

Результаты аналитических определений и измерений рассматривают уже в рамках экологического мониторинга. Это дает информацию о загрязнении биосферы различными несвойственными природе загрязняющими веществами, которые собирательно называют ксенобиотиками. Данные экологического мониторинга используют для всестороннего анализа состояния окружающей среды и определения стратегии управления им, для регулирования ее качества, для определения так называемых допустимых экологических нагрузок на природные системы. Степень ответственности здесь очень велика, поскольку указанные факторы, и в первую очередь химические, способны вызвать геофизические и геохимические изменения: возможное изменение климата, закисление природных вод кислотными дождями, загрязнение Мирового океана и нарушение баланса углекислоты в нем, нарушение озонового слоя. Можно определить различие между науками, вплотную занимающимися экологическими проблемами. Так, экология - наука о закономерностях взаимосвязей и взаимодействия организмов и их систем друг с другом и со средой обитания.

Экологическая химия изучает процессы, определяющие химический состав и свойства объектов окружающей среды.

Химическую экологию интересует химическое взаимодействие между живой и неживой природой.

Таким образом, основой экологического мониторинга является совокупность различных химических наук, каждая из которых нуждается в результатах химического анализа, поскольку химическое загрязнение - основной фактор неблагоприятного антропогенного воздействия на природу. Целью аналитической химии становится определение концентрации загрязняющих веществ в различных природных объектах. Ими являются при-

родные и сточные воды различного состава, донные отложения, атмосферные осадки, воздух, почвы, биологические объекты.

Экологическое нормирование

Регулирование качества природной среды основано на определении экологически допустимого воздействия на нее, когда самоочищение природы еще способно работать. Определенными нормами такого щадящего воздействия являются установленные медиками-токсикологами предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ (ПДК), не вызывающие нежелательных последствий в природной среде. ПДК достаточно малы. Они установлены для различных объектов - воды (питьевая вода, вода водоемов рыбохозяйственного значения, сточные воды), воздуха (среднесуточная концентрация, воздух рабочей зоны, максимально допустимая разовая ПДК), почв.

Перечень и количество выбрасываемых в окружающую среду загрязняющих веществ чрезвычайно велики, по некоторым оценкам, до 400 тыс. наименований, включая радионуклиды. Прежде всего наблюдению должны подлежать вещества, выброс которых носит массовый характер, и, следовательно, загрязнение ими повсеместно. Это, например, диоксид серы, монооксид углерода, пыль, что характерно для городского воздуха; нефтепродукты, поверхностно-активные вещества для природных вод; пестициды для почв. Обязательно следует контролировать и самые токсичные вещества, отличающиеся наиболее низкими ПДК. Это позволяет сформировать список приоритетных загрязняющих веществ, которые следует определять в первую очередь.

Например, большинство нормируемых загрязняющих веществ для воздуха имеют ПДК в пределах 0,005-0,1 мг/м³. В них попадают пентаоксид ванадия, неорганические соединения мышьяка (исключая мышьяковистый водород), шестивалентный хром, некоторые органические вещества: ацетофенон, стирол и др. Для небольшого перечня веществ ПДК еще меньше: металлическая ртуть 0,0003 мг/м³, свинец и его соединения 0,0007, карбонилникель 0,0005, бенз[а]пирен 0,000 001 мг/м³. Основное количество нормируемых загрязняющих веществ для воды водоемов имеют ПДК 0,1-1 мг/л. Для многих токсичных веществ установлена ПДК 0,001-0,003 мг/л. Это неорганические соединения селена, ртути, органические соединения - изомерные дихлорбензолы, тиофос. Небольшое число веществ - соединения бериллия, диэтилртуть, тетраэтилолово имеют ПДК в пределах 0,0001-0,0002 мг/л. Для особенно опасных токсичных веществ, таких, как растворимые соли сероводородной кислоты, активный хлор, бенз[а]пирен, *N*-нитрозоамины, диоксины (например, чрезвычайно токсичный 2,3,7,8-тетрахлордибензо-4-диоксин), в качестве норматива установлено полное отсутствие их в воде. В водоемах рыбохозяйственного значения в воде не допускается наличие еще и ДДТ и других пестицидов.

Отсюда следуют два вывода.

Первый состоит в том, что для оценки опасности загрязнения следует иметь некий образец для сравнения. Эту функцию выполняют исследования, проводимые в биосферных заповедниках.

Второй вывод относится к аналитической химии: необходимо применять мощные, информативные и чувствительные методы анализа, чтобы контролировать концентрации, меньшие ПДК. В самом деле, что означает нормативное "отсутствие компонента"? Может быть, его концентрация настолько мала, что его традиционным способом не удастся определить, но сделать это все равно нужно. Действительно, охрана окружающей среды - вызов аналитической химии.

Аналитическая химия и экологический мониторинг

Высокоэффективные методы контроля состояния окружающей среды исключительно важны для диагностики токсикантов. Принципиально важно, чтобы предел обнаружения загрязняющих веществ аналитическими методами был не ниже 0,5 ПДК. Кроме того, например, при определении основных компонентов атмосферного воздуха - кислорода, диоксида углерода, озона - требуется высокая точность. Многокомпонентность объектов окружающей среды предопределяет большие сложности в качественном обнаруже-

нии и количественном определении загрязняющих веществ. Ключевая роль принадлежит химическим, физическим и физико-химическим методам аналитической химии. В связи с чрезвычайно большим количеством выполняемых анализов все большее значение приобретают автоматические и дистанционные методы анализа.

Примером является аналитическая химия природных и сточных вод. Существует совокупность сложных процессов между находящимися в воде ионами и молекулами, атмосферным углекислым газом и твердым карбонатом кальция. Это приводит к образованию буферной системы с pH 8,0-8,4. Отклонение от этого естественно-оптимального значения pH может привести к крайне нежелательным последствиям, если учесть, что фитопланктон океана производит почти половину всего атмосферного кислорода. Подчеркнем наличие и других показателей качества океанической воды: концентрация катионов и анионов, содержание биогенных элементов, входящих в состав организмов, растворенных газов, микроэлементов, органических веществ.

Глубоким содержанием наполнен перечень обобщенных показателей при мониторинге вод, характеризующих их общую загрязненность. Ими являются химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК), общий органический углерод, растворенный органический углерод, общий азот, адсорбирующиеся органические галогениды, экстрагирующиеся органические галогениды.

Рассмотрим важнейшие из них - ХПК и БПК. ХПК (*COD - Chemical Oxygen Demand*) - мера общей загрязненности воды содержащимися в ней органическими и неорганическими восстановителями, реагирующими с сильным окислителем. Ее обычно выражают в молях эквивалента кислорода, израсходованного на реакцию окисления примесей избытком бихромата:

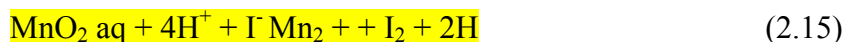
Остаток бихромата оттитровывают стандартным раствором соли Fe(II):

Поскольку ХПК не характеризует все органические загрязнители, окисляемые до углекислоты и воды, проводят еще определение общего органического углерода. Для этого в пробе в жестких условиях окисляют органические загрязнители. Выделяющийся CO_2 поглощают раствором щелочи. Оттитровав остаток щелочи кислотой, находят искомым показатель. Вычислив отношение ХПК к общему органическому углероду, получают показатель загрязненности сточных вод органическими веществами.

БПК (*BOD - Biochemical Oxygen Demand*) - это количество кислорода, требующееся для окисления находящихся в воде органических веществ в аэробных условиях в результате происходящих в воде биологических процессов. Для его определения отбирают две одинаковые пробы воды. В первой сразу же определяют содержание растворенного кислорода. К пробе добавляют раствор соли Mn(II) и аммиак, в результате чего образуется окислитель - гидратированная форма двуокиси марганца:



Далее вводят избыток иодида калия и выделившийся иод оттитровывают раствором тиосульфата:



Вторую пробу закрывают и оставляют на 2, 3, 5, 10 или 15 суток. Далее, действуя описанным выше способом, находят остаток кислорода. Разность между первым и вторым определениями дает ХПК.

Приведенные примеры иллюстрируют применение в экологическом мониторинге классических химических методов анализа. Особенно велика роль современных методов аналитической химии, часто называемых инструментальными. Лишь современные методы анализа, среди них спектроскопические, электрохимические, хроматографические и др. (среди них отметим масс-спектрометрию), позволяют достигать необходимых низких пределов обнаружения, высоких чувствительности и избирательности определений. Ввиду важности этой проблемы многие фирмы насыщают рынок приборами простыми и сложными, специально приспособленными для решения задач мониторинга различных объектов.

Пробоподготовка в анализе объектов окружающей среды

Специфика объектов окружающей среды как объектов химического анализа заставляет подчеркнуть их изменяющийся состав, многокомпонентность и многофазность. Известным примером может быть ключевая роль оксидов азота в образовании фотохимического смога, усиливающегося под влиянием озона и углеводородов. Множество протекающих в природной среде химических, биохимических и биогеохимических процессов предопределяет чрезвычайную сложность химико-аналитических исследований. Это необходимо учитывать при анализе жидких сред: растворов (они могут быть истинными, коллоидными, насыщенными), суспензий, эмульсий, летучих и нелетучих твердых веществ, газов; при определении различных неорганических и органических веществ, исследовании живого вещества. Принципиально важны пробоотбор, сохранение и консервация проб и пробоподготовка, необходимая для перевода всех компонентов пробы в форму, удобную для проведения анализа. Для этого используют все способы, применяемые в химическом анализе: измельчение твердых образцов, растворение, обработку различными химическими реактивами, нагревание, один из наиболее современных приемов - микроволновое и ультразвуковое облучение - все для полного извлечения определяемых компонентов. Например, при учете всех форм нахождения металлов в водах можно определить растворимые металлы (в фильтрате пробы, подкисленном азотной кислотой), суспендированные металлы (после кислотного озонирования - «мокрого сжигания» кислотами-окислителями осадка на фильтре), общие металлы (после мокрого сжигания всей пробы), экстрагирующиеся металлы (анализ фильтрата после обработки пробы смесью азотной и соляной кислот). Необходимо учитывать также способность ионов тяжелых металлов к гидролизу и гидролитической полимеризации и лигандный состав природных вод - наличие гуминовых кислот и, следовательно, формы существования в них металлов.

Сложность почв как объекта анализа определяется их гетерогенным и многофазным характером. Минеральная основа, органические и биологические компоненты: гумусовые вещества, почвенные раствор и воздух - вот объекты анализа в этом случае. К ним следует прибавить еще и оказывающие наиболее сильный загрязняющий эффект минеральные удобрения, пестициды и продукты их превращений.

При определении следов веществ чувствительности применяемых инструментальных аналитических методов иногда бывает недостаточно. В этом случае применяют различные способы аналитического концентрирования: экстракцию органическими растворителями, не смешивающимися с водой, сорбционное концентрирование, дистилляцию, соосаждение, использование криогенных ловушек. Например, органические загрязнители, как правило, присутствуют в питьевой воде в очень малых количествах порядка ppb (part per billion - часть на миллиард, 0,000 001 мг/л). Для выполнения определений их необходимо сконцентрировать. Летучие органические вещества извлекают из вод потоком инертного газа и улавливают твердыми адсорбентами. Далее нагреванием осуществляют их термическую десорбцию и переносят сконцентрированные компоненты из ловушки в газовый хроматограф. Нелетучие органические вещества экстрагируют органическими растворителями. Экстракты анализируют методами высокоэффективной жидкостной хроматографии. Экстракцию веществами, находящимися в сверхкритическом состоянии (например, диоксидом углерода), упрощающую приготовление концентрата, используют при извлечении полициклических ароматических и гетероциклических углеводородов, пестицидов, полихлорированных бифенилов, диоксинов из твердых образцов, например почв.

Методы определения загрязняющих веществ

Для решения этой задачи используют инструментальные методы современной аналитической химии, основанные на измерении различных физических свойств определяемых веществ или продуктов их химических превращений (аналитических реакций) с по-

мощью физических и физико-химических приборов. Результат измерения, несущий химико-аналитическую информацию, часто называют аналитическим сигналом.

Спектроскопические методы анализа основаны на использовании взаимодействия атомов или молекул определяемых веществ с электромагнитным излучением широкого диапазона энергий. Это могут быть (в порядке уменьшения энергии) гамма-кванты, рентгеновское излучение, ультрафиолетовое и видимое, инфракрасное, микроволновое и радиоволновое излучение. Сигналом может быть испускание или поглощение излучения. Важнейшими для экологического мониторинга, по-видимому, являются нейтронно-активационный, рентгеноспектральный, атомно-абсорбционный и атомно-эмиссионный анализ, спектрофотометрический и флуориметрический методы, инфракрасная спектрометрия.

Ценную информацию в анализе вод предоставляют электрохимические методы анализа: потенциометрия, полярографические и кулонометрические методы. Параметры Eh и pH для различных вод неодинаковы. Eh и pH контролируются такими важнейшими факторами, как фотосинтез дыхания и разложения, окислительно-восстановительные реакции с участием серы, железа и углерода, рассмотренный ранее баланс между растворенной углекислотой и карбонатом кальция в природных водах и другие факторы химической экологии гидросферы.

Исключительно мощное средство контроля загрязнения различных объектов окружающей среды - хроматографические методы, позволяющие анализировать сложные смеси компонентов. Наибольшее значение приобрели тонкослойная, газожидкостная и высокоэффективная жидкостная и ионная хроматография. Будучи несложной по технике выполнения, тонкослойная хроматография хороша при определении пестицидов и других органических соединений-загрязнителей. Газожидкостная хроматография эффективна при анализе многокомпонентных смесей летучих органических веществ. Применение различных детекторов, например малоизбирательного детектора по теплопроводности - катарометра и избирательных - пламенно-ионизационного, электронного захвата, атомно-эмиссионного, позволяет достигать высокой чувствительности при определении высокотоксичных соединений. Высокоэффективную жидкостную хроматографию применяют при анализе смесей многих загрязняющих веществ, прежде всего нелетучих. Используя высокочувствительные детекторы: спектрофотометрические, флуориметрические, электрохимические, можно определять очень малые количества веществ. При анализе смесей сложного состава особенно эффективно сочетание хроматографии с инфракрасной спектрометрией и особенно с масс-спектрометрией. В последнем случае роль детектора играет подключенный к хроматографу масс-спектрометр. Обычно приборы такого типа оснащены мощным компьютером. Так определяют пестициды, полихлорированные бифенилы, диоксины, нитрозоамины и другие токсичные вещества. Ионная хроматография удобна при анализе катионного и анионного составов вод.

Таким образом, химическая информация о качестве окружающей среды очень важна. Однако даже все аналитические методы не в состоянии охватить функциональное разнообразие загрязняющих веществ. Не дают они и прямой информации об их биологической опасности. Это задача биологических методов. Результаты наблюдений за изменениями состояния биосферы используют для оценок и прогноза. Эта грандиозная и одна из серьезнейших проблем предопределяет высокую требовательность к правильности результатов химико-аналитического исследования природной среды.

Глава III

Методы радиационного мониторинга окружающей среды

3.1. Основные понятия и система нормирования в радиационной экологии

Радиационная экология – отрасль экологии, изучающая распределение, миграцию, круговорот радионуклидов в биосфере и воздействие ионизирующих излучений на экосистемы.

Радиоактивное излучение открыто в 1886 г. Анри Беккерелем и состоит в самопроизвольном превращении ядер неустойчивых элементов в ядра других элементов с испусканием ионизирующих излучений. В 1895 г. Конрад Рентген открыл X-лучи – жесткое электромагнитное излучение. В 1897 г. Дж. Дж. Томсон открыл электрон. В 1898 г. Мария и Пьер Кюри открыли радиоактивность тория и радиоактивные элементы радий и полоний. В 1899 г. Резерфорд открыл альфа- и бета-лучи.

Основные виды ионизирующих излучений: альфа-излучение, бета-излучение, нейтронное излучение, гамма-излучение ($0,001 \text{ \AA} - 0,1 \text{ \AA}$), рентгеновское излучение ($100 \text{ \AA} - 0,1 \text{ \AA}$).

Альфа-излучение представляет собой поток положительно заряженных частиц с зарядом 2 и массой, равной 4, (по существу — ядра гелия). Энергия излучения порядка нескольких МэВ. Пробег в воздухе составляет 8 – 9 см. Пробег в живой ткани составляет несколько десятков микрон, а алюминиевая фольга в 10 микрон полностью поглощает альфа-излучение. Ионизирующая способность в воздухе – несколько десятков тысяч пар на 1 см пробега. Этот вид излучения легко поглощается любой средой. Защититься от него можно буквально листом бумаги.

Однако поступление альфа-излучателя внутрь организма может вызвать трагические последствия.

Бета-излучение является потоком отрицательно заряженных частиц (электронов), возникающем при радиоактивном распаде. Скорость может достигать в вакууме скорости света, энергия – до 10 МэВ. Максимальный пробег в воздухе – до 15 м, в живых тканях – около 2,5 см. Ионизирующая способность ниже, чем у альфа-излучения и составляет несколько десятков пар на 1 см пробега. Защититься от этого излучения при внешнем источнике можно сравнительно легко. В принципе, бета-частицы задерживаются неповрежденной кожей. Однако при поступлении внутрь организма бета-активные радионуклиды испускают хорошо поглощаемые тканями организма бета-частицы. Возникающие при этом в организме разрушения значительно превосходят таковые, производимые гамма-излучением.

Нейтронное излучение. Поток нейтронов различных энергий, возникающий при распаде ядер. При неупругих столкновениях происходит ионизация вещества, при неупругих – возникает вторичное излучение как в виде гамма-лучей, так и в виде заряженных частиц.

Рентгеновское излучение - электромагнитное излучение длиной $0,001 - 10$ Ангстрем возникает при воздействии потока электронов на окружающую среду. Состоит из тормозного (непрерывный спектр) и характеристического (дискретный спектр, зависящий

от материала анода). Обладает малой ионизирующей и, соответственно, большой проникающей способностью. Энергия фотонов рентгеновского излучения составляет примерно 1 МэВ.

Гамма-излучение представляет собой электромагнитное излучение высокой энергии и обладает наибольшей проникающей способностью. Возникает в результате естественной радиоактивности, искусственных ядерных реакций, соударении частиц высокой энергии, при взрывах сверхновых звезд и аккреции вещества на черные дыры. Обладает наибольшей из всех видов излучений энергией. Соответственно, защита от внешнего гамма-излучения представляет наибольшие проблемы (рис. 3.1).

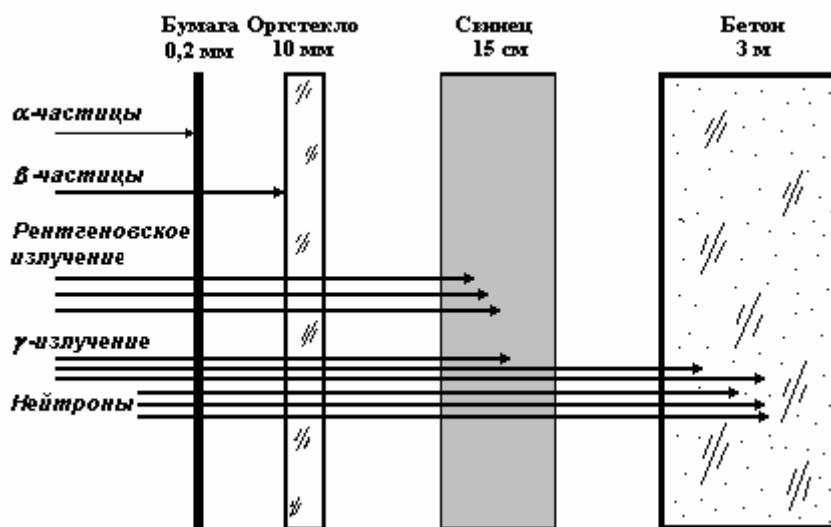


Рис. 3.1. Сравнительные характеристики проникающей способности различных видов ионизирующих излучений

Основные понятия физики ионизирующих излучений (Чертов А.Г. *Физические величины*. – М.: Высшая школа, 1990. – 335 с.)

Виды ионизирующих излучений

Излучение – распространение энергии в форме волн или частиц.

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию заряженных частиц разных знаков. Видимый свет, УФ, ИК-излучения не включаются в это понятие.

Непосредственно ионизирующее излучение - ионизирующее излучение, состоящее из заряженных частиц, имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновении. Оно может состоять из электронов, протонов, альфа-частиц и др.

Косвенное ионизирующее излучение – ионизирующее излучение, состоящее из незаряженных частиц, которые могут создавать непосредственно ионизирующее излучение и (или) вызывать ядерные превращения. Оно может состоять из фотонов, нейтронов и т.д.

Моноэнергетическое ионизирующее излучение (монохроматическое излучение) – ионизирующее излучение, состоящее из фотонов одинаковой энергии или частиц одного вида с одинаковой энергией.

Космическое излучение - ионизирующее излучение, состоящее из первичного ионизирующего излучения, поступающего из космического пространства, и вторичного ионизирующего излучения, возникающего в результате взаимодействия первичного излучения со средой.

Фотонное ионизирующее излучение – электромагнитное косвенное ионизирующее излучение.

Гамма-излучение – фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер или при аннигиляции частиц.

Тормозное излучение – фотонное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц.

Характеристическое излучение – фотонное излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома.

Рентгеновское излучение – фотонное излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучения.

Корпускулярное излучение - ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой, отличной от нуля. К нему относится также нейтронное излучение.

Альфа-излучение – корпускулярное излучение, состоящее из альфа-частиц, испускаемых при ядерных превращениях.

Электронное излучение – корпускулярное излучение, состоящее из электронов или позитронов.

Бета-излучение – электронное излучение, возникающее при бета-распаде ядер или нестабильных частиц.

Фотоэлектроны - электронное излучение, возникающее при фотоэлектрическом взаимодействии фотонного излучения с веществом.

Комптоновское излучение – электронное излучение, возникающее при комптоновском (некогерентном) рассеянии фотонного излучения.

Протонное излучение – корпускулярное излучение, состоящее из ядер водорода.

Поляризованное излучение – ионизирующее излучение, состоящее из частиц с определенной ориентацией спинов и (или) фотонов с определенной ориентацией электрического вектора.

Величины и единицы, характеризующие ионизирующие излучения

Энергия ионизирующего излучения W – суммарная энергия ионизирующих частиц, испущенная, переданная или поглощенная. Определяется их кинетической энергией, а для фотонов рентгеновского и гамма-излучения – соотношением $\varepsilon=h\nu$. Измеряется в Джоулях или для отдельных частиц в электрон-вольтах. $1\text{ эВ}=1,6\cdot 10^{-19}\text{ Дж}$.

Поток ионизирующих частиц F – отношение числа dN ионизирующих частиц, проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу, $[F]=\text{с}^{-1}$

$$F = \frac{dN}{dt}. \quad (3.11)$$

Использование единицы мин^{-1} предпочтительно для потока частиц, характеризующего степень загрязнения поверхностей радиоактивными веществами.

Перенос ионизирующих частиц Φ – отношение числа dN частиц, проникающих в элементарную сферу к площади dS центрального сечения этой сферы, $[\Phi]=\text{м}^{-2}$

$$\Phi = \frac{dN}{dS}. \quad (3.2)$$

Плотность потока ионизирующих частиц φ - отношение потока dF ионизирующих частиц, проникающих в элементарную сферу, к площади dS центрального сечения этой сферы, $[\varphi]=\text{с}^{-1}\text{м}^{-2}$

$$\varphi = \frac{dF}{dS} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d^2N}{dSdt}. \quad (3.3)$$

Энергетическая плотность потока ионизирующих частиц $\varphi(E)$ – отношение плотности потока ионизирующих частиц φ с энергией от E до $E+dE$ к энергетическому интервалу dE ,

$$\varphi(E) = \frac{d\varphi}{dE} = \frac{d^2F}{dSdE} = \frac{d^2\Phi}{dtdE} = \frac{d^2N}{dSdtdE}. \quad (3.4)$$

$[\varphi(E)] = 1 \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2} \text{ Дж}^{-1}$ – энергетическая плотность ионизирующих частиц, при которой в сферу с площадью 1 м^2 за 1 с проникает одна частица с энергией, заключенной в интервале 1 Дж .
Предпочтительные единицы: $\text{с}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$; $\text{с}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ МэВ}^{-1}$.

Поток ионизирующего излучения F_w – отношение энергии dW ионизирующего излучения, проходящего через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу, $[F_w] = \text{Вт}$.

$$F_w = \frac{dW}{dt}. \quad (3.5)$$

Перенос энергии ионизирующего излучения Φ_w – отношение энергии dW ионизирующего излучения, проникающего в элементарную сферу, к площади dS центрального сечения этой сферы, $[\Phi_w] = \text{Дж/м}^2$

$$\Phi_w = \frac{dW}{dS}. \quad (3.6)$$

Плотность потока ионизирующего излучения φ_w – отношение потока энергии F_w ионизирующего излучения, проникающего в элементарную сферу, к площади dS центрального сечения этой сферы, $[\varphi_w] = \text{Вт/м}^2$

$$\varphi_w = \frac{dF_w}{dS} = \frac{d\Phi_w}{dt} = \frac{d^2W}{dSdt}. \quad (3.7)$$

Свойства радиоактивных излучений:

- а) все радиоактивные вещества в той или иной степени обладают химическими действиями (в частности, вызывают почернение фотопластинок;
- б) радиоактивные излучения вызывают ионизацию газов, иногда твердых и жидких тел;
- в) радиоактивные излучения вызывают люминесценцию некоторых твердых и жидких тел.

Естественные радиоактивные превращения не зависят от внешних условий, а также не зависят от того, происходят ли эти превращения в веществе, находящемся в виде чистого химического элемента или соединения. То есть радиоактивные превращения (излучения) являются свойством атомных ядер.

Радиоактивный распад

В 1899 г. Резерфорд открыл альфа- и бета-лучи, объяснил их природу и совместно с Содди создал теорию радиоактивности, по которой образование различных частиц и гамма-излучений, а также превращение одних ядер в другие происходят самопроизвольно, но с соблюдением Правила смещения:

- при альфа-распаде ядро теряет положительный заряд $2e^+$ и его масса уменьшается на четыре единицы массы, в результате чего элемент смещается к началу периодической системы



- при бета-распаде элемент смещается на одну клетку в конце периодической системы



Процесс радиоактивного распада (перехода радиоактивного элемента в другой химический элемент) сопровождается излучением одного или нескольких видов. В соответствии с тем, какой вид излучения характерен для радиоактивного распада данного изотопа, выделяют гамма-активные изотопы (например, цезий-137), бета-излучатели (например, стронций-90) и альфа-излучатели (например, большинство изотопов плутония).

Основной закон радиоактивного распада.

Радионуклиды обладают различной степенью устойчивости. За определенное время они или распадаются, или переходят в другое состояние. Это время характеризуется периодом полураспада $T_{1/2}$ – временем, в течение которого распадается половина исходного числа атомов радионуклидов.

Процесс радиоактивного распада (перехода радиоактивного элемента в другой химический элемент) сопровождается излучением одного или нескольких видов. В соответствии с тем, какой вид излучения характерен для радиоактивного распада данного изотопа, выделяют гамма-активные изотопы (например, цезий-137), бета-излучатели (например, стронций-90) и альфа-излучатели (например, большинство изотопов плутония).

Радионуклиды обладают различной степенью устойчивости. За определенное время они или распадаются, или переходят в другое состояние. Пусть за малый интервал времени dt распадается dN ядер, так что

$$dN = -\lambda N dt . \quad (3.10)$$

Здесь λ - постоянная распада, пропорциональная вероятности распада радиоактивного вещества и различная для разных веществ.

Интегрируя $\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$ получаем **основной закон радиоактивного распада**

$$N = N_0 * e^{-\lambda t} , \quad (3.12)$$

где N_0 – исходное число атомов, N – число атомов к моменту t , λ - постоянная распада, равна доле ядер, распадающихся за 1 с. Величина $1/\lambda$ называется *средней продолжительностью жизни радиоактивного изотопа*.

Время, в течение которого распадается половина исходного числа атомов радионуклидов характеризуется периодом полураспада $T_{1/2}$:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} , \text{ откуда } \ln \frac{1}{2} = -\lambda T_{1/2} \rightarrow \ln 2 = -\lambda T_{1/2} .$$

Тогда
$$T_{1/2} = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \frac{0,69}{\lambda} .$$

Активность распада $A = \left| \frac{dN}{dt} \right|$ пропорциональна скорости распада (характеризует число частиц или фотонов, вылетающих из препарата в секунду).

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N , \quad (3.13)$$

то есть **активность тем больше, чем больше число радиоактивных ядер и меньше их период полураспада**.

Таблица 3.1.

Периоды полураспада некоторых элементов

Элемент	$T_{1/2}$	Вид активности
U ²³⁸	7*10 ⁹ лет	
U ²³⁵	4,5*10 ⁸ лет	
Rn ²²²	3,82 сут	
C ¹⁴	5600 лет	α, β
Cs ₅₅ ¹³⁷	27 лет	β, γ
Sr	51 день	β

Характеристики источников ионизирующих излучений

Активность радионуклида в источнике, A – отношение числа dN спонтанных переходов из определенного ядерно-энергетического состояния радионуклидов в источнике, происходящих за интервал dt , к этому интервалу времени, $[A]=\text{с}^{-1}$.

$$A = \frac{dN}{dt}. \quad (3.14)$$

За основной процесс при радиоактивности принят 1 распад, сопровождающийся испусканием альфа- или бета-частиц, нейтронов и гамма-излучения

Беккерель (Бк) — 1 распад в секунду (с^{-1})

Кюри - соответствует активности 1 г радия

1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

1 Рд (Резерфорд) = 10^6 Бк.

Удельная активность источника A_m , $[A_m]=\text{Бк/кг}$

$$A_m = \frac{A}{m}. \quad (3.15)$$

Интенсивность – характеризуется для альфа- и бета-излучения активностью на единицу площади ($\text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$).

Дозиметрические величины и единицы

Экспозиционная доза фотонного рентгеновского или гамма-излучения измеряется по ионизации воздуха и равна количеству электричества, образующегося под действием гамма-излучения в 1 кг воздуха.

$$D_0 = \frac{dQ}{dm}. \quad (3.16)$$

В СИ экспозиционная доза выражается в кулонах на кг (Кл/кг).

Рентген — доза гамма-излучения, при которой в 1 см^3 воздуха при нормальных физических условиях (температура 0°С и давление 760 мм рт. ст.) образуется $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов, несущих одну электростатическую единицу количества электричества.

1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Мощность экспозиционной дозы отражает скорость накопления дозы и выражается в Кл/кг·сек = А/кг (в СИ) или в Р/ч (во внесистемных единицах)

$$P_0 = \frac{dD_0}{dt}. \quad (3.17)$$

1 Р/ч = $2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг.

Плотность загрязнения - активность на единицу площади (с учетом изотопного состава). Этот способ, однако, весьма трудоемок, требует проведения лабораторных анализов и не всегда может быть использован для оперативной оценки. Обычно такая оценка производится с помощью методов полевой дозиметрии.

Мерой загрязнения гамма-излучателями является мощность экспозиционной дозы
Бета-загрязнение характеризуется плотностью потока бета-частиц

В то же время, населению, как правило, в качестве характеристики загрязнения сообщается (в т. ч. и через средства массовой информации) только *мощность экспозиционной дозы*. Эта величина, однако, является лишь одной из характеристик радиационной ситуации. Существует множество искусственных радиоактивных изотопов, которые практически не испускают гамма-квантов, но при этом являются очень опасными источниками излучения. Мощность экспозиционной дозы, определяемая при помощи гамма-дозиметра, не может отразить степени загрязнения такими изотопами.

Система нормирования 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:

$$D_n = \frac{dE}{dm}. \quad (3.18)$$

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 Гр = 1 Дж/кг).

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

Процесс прохождения ионизирующего излучения через вещество связан с поглощением энергии, при этом поглощенная веществом энергия равна потере энергии излучением. Поглощенная доза излучения показывает потерю энергии излучения на единицу массы вещества и в то же время энергию, приобретенную веществом на единицу его массы.

1. Поглощенная доза излучения является основной величиной, определяющей степень радиационного воздействия.
Область использования поглощенной дозы – лучевая терапия, радиационная технология, радиобиологические и радиационно-материаловедческие исследования, радиационная безопасность (аварийное облучение).
При терапевтическом использовании ионизирующих излучений и аварийном облучении, при нанесении шкал клинических и аварийных дозаторов предпочтительной единицей является Грей.
2. При технологическом применении излучений, в радиобиологических и радиационно-материаловедческих исследованиях используются десятичные и кратные им числовые значения поглощенной дозы.

Мощность поглощенной дозы ионизирующего излучения – отношение приращения dD поглощенной дозы за интервал времени dt к этому интервалу времени, $\frac{dD}{dt}$, Гр/с.

Керма K – отношение суммы начальных кинетических энергий dE_k всех заряженных ионизирующих частиц, образовавшихся под действием косвенно ионизирующего излучения в элементарном объеме вещества, к массе dm в этом объеме. $[K]=\text{Гр}$

$$K = \frac{dE_k}{dm}. \quad (3.19)$$

Грей равен керме, при которой сумма начальных кинетических энергий всех заряженных ионизирующих частиц, образовавшихся под действием косвенно ионизирующего излучения в веществе массой 1 кг, равна 1 Дж.

Эквивалентная доза $D_{эkv}$. 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.

$$D_{эkv} = D_n * K, \quad (3.20)$$

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 (табл. 3.2).

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.

Таблица 3.2

Коэффициент качества излучения

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 Зв=1 Гр*1 ($K=1$)=100 рад*1($K=1$)=100 бэр

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

Эквивалентная доза ионизирующего излучения является основной величиной, определяющей уровень радиационной опасности при хроническом облучении человека в малых дозах.

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.

Эффективная эквивалентная доза H_{ef} – сумма произведений эквивалентной дозы, полученной каждым органом, на соответствующий коэффициент, учитывающий различную чувствительность органов к излучению

$$H_{ef} = \sum_{i=1}^N H_n * W_n . \quad (3.21)$$

Пример: доза облучения легких 1 мЗв соответствует $H_{ef}=0,12$ мЗв, то есть показывает, что при равномерном облучении всего тела дозой 0,12 мЗв вероятность риска от облучения такая же, что и облучении дозой 1 мЗв только легких.

В табл. 3.3 Представлены данные о радиочувствительности различных объектов к дозам гамма-излучения, вызывающим 50% смертность (LD_{50})

Таблица 3.3

Биологический вид	ЛД ₅₀ , Гр	Биологический вид	ЛД ₅₀ , Гр
Овца	1,5-2,5	Птицы	8,0-20,0
Осел	2,0-3,8	Рыбы	8,0-20,0
Собака	2,5-3,0	Кролик	9,0-10,0
Человек	2,5-3,5	Хомяк	9,0-10,0
Обезьяны	2,5-6,0	Змеи	80,0-200
Мыши	6,0-15,0	Насекомые	10,0-100,0
Крысы	7,0-9,0	Растения	10,0-1500

Мощность эквивалентной дозы – отношение приращения эквивалентной дозы за какой-либо интервал времени, к этому интервалу, Зв/с.

Время пребывания человека в поле излучения при низких уровнях ионизирующего излучения измеряется часами (тридцатишестичасовая рабочая неделя). Поэтому чаще всего удобней всего измерять мощность эквивалентной дозы в мкЗв/ч.

Допустимая среднегодовая мощность эквивалентной дозы при облучении всего тела работающими равна 28 мкЗв/ч при 36-часовой рабочей неделе. Естественный фон на территории России создает мощность эквивалентной дозы, находящуюся в пределах 0,05 – 0,2 мкЗв/ч.

3.2. Методы и средства радиационного контроля окружающей среды

Дозиметрические приборы.

Принцип обнаружения ионизирующих (радиоактивных) излучений (нейтронов, гамма-лучей, бета- и альфа-частиц) основан на способности этих излучений ионизировать вещество среды, в который они распространяются. Ионизация, в свою очередь, является причиной физических и химических изменений в веществе, которые могут быть обнаружены и измерены. К таким изменениям среды относятся: изменения электропроводности веществ (газов, жидкостей, твердых материалов); люминесценция (свечение) некоторых веществ; засвечивание фотопленок; изменение цвета, окраски, прозрачности, сопротивления электрическому току некоторых химических растворов и др.

Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используют следующие методы: фотографический, сцинтилляционный, химический и ионизационный.

Фотографический метод основан на степени почернения фотоэмульсии. Под воздействием ионизирующих излучений молекулы бромистого серебра, содержащегося в фотоэмульсии, распадаются на серебро и бром. При этом образуются мельчайшие кристаллики серебра, которые и вызывают почернение фотопленки при ее проявлении. Плотность почернения пропорциональна поглощенной энергии излучения. Сравнивая плотность почернения с эталоном, определяют дозу излучения {экспозиционную или поглощенную), полученную пленкой. На этом принципе основаны индивидуальные фотодозиметры.

Сцинтилляционный метод. Некоторые вещества (сернистый цинк, йодистый натрий) под воздействием ионизирующих излучений светятся. Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения и регистрируется с помощью специальных приборов — фотоэлектронных умножителей. Данный метод является весьма чувствительным и эффективным при регистрации ионизирующих излучений.

Химический метод. Некоторые химические вещества под воздействием ионизирующих излучений меняют свою структуру. Так, хлороформ в воде при облучении разлагается с образованием соляной кислоты, которая дает цветную реакцию с красителем, добавленным к хлороформу. Двухвалентное железо в кислой среде окисляется в трехвалент-

ное под воздействием свободных радикалов HO_2 и OH , образующихся в воде при ее облучении. Трехвалентное железо с красителем дает цветную реакцию. По плотности окраски судят о дозе излучения (поглощенной энергии). На этом принципе основаны химические дозиметры ДП-70 и ДП-70М.

В дозиметрических приборах наиболее широкое распространение получил ионизационный метод обнаружения и измерения ионизирующих излучений.

Способы обнаружения элементарных частиц зависят от того, имеют ли они заряд.

Заряженная частица при своем движении ионизирует атомы и молекулы среды, через которую она пролетает. Поскольку энергия частицы намного больше энергии ионизации молекулы, частица создает на своем пути большое число ионов, что дает возможность ее обнаружить.

Количество созданных пар ионов на единицу длины пробега частицы приблизительно пропорционально плотности среды, квадрату заряда частицы, обратно пропорционально квадрату скорости частицы и не зависит от ее массы.

В ионизационных камерах в пространстве между двумя электродами создается электрическое поле. Попадающие в камеру частицы и излучения вызывают появление носителей заряда, насыщение которых характеризует интенсивность ионизирующего излучения. Ионизационная камера представляет собой конденсатор, к пластинам которого приложено постоянное напряжение от батареи. Пространство между пластинами, называемое рабочим объемом камеры, обычно заполняется воздухом. При воздействии радиоактивных излучений воздух в камере ионизируется, и через камеру проходит ионизационный ток, величина которого пропорциональна мощности дозы радиоактивных излучений, воздействующих на камеру. Измеряя ионизационный ток, можно определить плотность потока ионизирующего излучения, а, следовательно, и дозу радиоактивного излучения, воздействующего на камеру.

В счетчиках Гейгера-Мюллера ионизация, создаваемая попадающими в них частицами, вызывает кратковременный электрический разряд. Ток этого разряда можно усилить и зарегистрировать. Газоразрядный счетчик представляет собой металлический цилиндр с тонкой коаксиально расположенной металлической нитью (внешний и внутренний электроды), к которым приложено довольно высокое напряжение. Пространство между электродами заполнено смесью инертных газов (аргон и неон) под пониженным давлением. Принципиальное отличие газоразрядного счетчика от ионизационной камеры состоит в том, что в газоразрядном счетчике используется усиление ионизационного тока за счет явления ударной ионизации в газе. Газоразрядный счетчик используется в качестве детектора ионизирующих излучений в приборах, предназначенных для обнаружения радиоактивного заражения местности и объектов.

В камере Вильсона α и β -частицы оставляют следы благодаря конденсации вдоль их траектории капелек перенасыщенного водяного пара.

Подобный процесс происходит и в пузырьковой камере.

Приборы, работающие на основе ионизационного метода, имеют принципиально одинаковое устройство (рис. 3.2) и включают: воспринимающее устройство (ионизационную камеру или газоразрядный счетчик), усилитель ионизационного тока (электрическая схема, включающая электрометрическую лампу 2, нагрузочное сопротивление 3 и другие элементы), регистрирующее устройство 4 (микроамперметр) и источник питания 5 (сухие элементы или аккумуляторы).

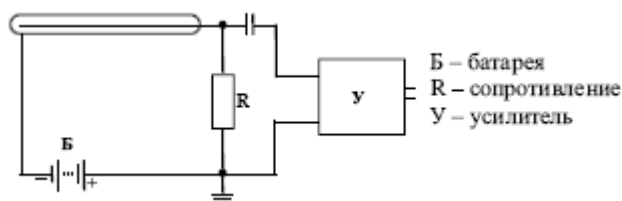


Рис. 3.2. Принципиальная схема ионизационного метода регистрации излучений

Классификация и принципы действия дозиметрических приборов

Основной задачей дозиметрии в ГОЧС (гражданской защиты) является выявление и оценка степени опасности ионизирующих излучений для населения, войск ГО и формирований ГОЧС в целях обеспечения их действий в различных условиях радиационной обстановки (РО). С помощью дозиметрии осуществляются:

- обнаружение и измерение мощности экспозиционной и поглощенной доз излучения для обеспечения жизнедеятельности населения и успешного проведения АС и ДНР в зоне ЧС;
- измерение активности радиоактивных веществ (РВ), уровня загрязнения, степени заражения γ -излучением различных поверхностей объектов для определения необходимости и полноты проведения дезактивации и санитарной обработки, а также определения пригодности зараженных продуктов, воды к употреблению;
- измерение экспозиционной и поглощенной доз облучения в целях определения жизнедеятельности населения в радиационном отношении;
- лабораторные измерения степени заражения РВ продуктов питания, воды.

Ниже будут рассмотрены классификация, назначение, устройство и правила эксплуатации дозиметрических приборов, которыми оснащаются формирования ГО объектов экономики

Дозиметрические приборы классифицируют по назначению, типу датчиков, измерению вида излучений, характеру электрических сигналов, преобразуемых схемой прибора

По предназначению (применению) дозиметрические приборы делят на три группы: радиационной разведки местности, для контроля степени заражения и для контроля доз облучения.

Для практических целей используется *классификация дозиметрических приборов по назначению*, согласно которой их делят на следующие группы:

1. Индикаторы - предназначены для обнаружения излучения и ориентировочной оценки мощности дозы γ - и β -излучений. К ним относят приборы: ДП-64, а также бытовые – «Белла», «Сосна» и др. Датчиками в них являются газоразрядные счетчики.

2. Рентгенметры (измерители мощности дозы) - служат для измерения уровня радиации, мощности экспозиционной дозы γ -излучения, а также обнаружения β -излучения на местности. Это приборы типа ДП-5В, ИМД-5, ИМД-1Р, ДП-3Б, ИМД-22, ИМД-2Н и др. В качестве датчика в этих приборах используются газоразрядные счетчики.

3. Радиометры (измерители радиоактивности) - применяются для обнаружения и определения степени радиоактивного заражения поверхностей, оборудования и др. α -, β -частицами. Радиометрами возможно также измерение и небольших уровней мощности экспозиционной дозы γ -излучения. К таким приборам относят: СРП-98, СРП-97, СРП-88, РКСБ-104, РУП-1 и др. Датчики в них - газоразрядные счетчики.

4. Дозиметры - для контроля индивидуальных доз облучения людей на радиоактивно зараженной местности:

- экспозиционной дозы γ -излучения ($D_{\text{экс}}$, Р): комплекты дозиметров ДП-22В, ДП-24, ДП-70М;

- поглощенной дозы смешанного γ -, нейтронного излучений ($D_{\text{экс}}$, рад): комплекты дозиметров ИД-1, ИД-11.

В дозиметрах датчиком является ионизационная камера.

Таким образом, к дозиметрам относятся:

- рентгенметры и индикаторы - радиационная разведка местности;
- радиометры - контроль степени заражения поверхностей α -, β -частицами;
- рентгенометры – регистрация γ -частиц;
- дозиметры - контроль облучения людей.

Приборы радиационной разведки местности

ИНДИКАТОР-СИГНАЛИЗАТОР ДП-64 (рис.3.3) предназначен для постоянного радиационного наблюдения и оповещения о радиоактивной зараженности местности. Он работает в следящем режиме и обеспечивает звуковую и световую сигнализацию при достижении на местности мощности экспозиционной дозы γ -излучения, например, 0,2 Р/ч при ядерном взрыве (ЯВ) /4, 2/.

После включения прибора в сеть, тумблер «Вкл.-Выкл.» устанавливается в положение «ВКЛ.», тумблер «Работа-контроль» переводится в положение «Работа». Индикатор готов к работе

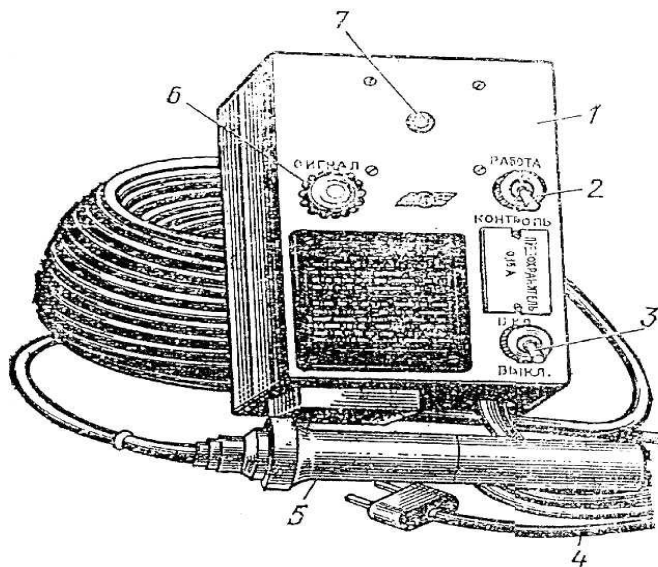


Рис.3.3. Индикатор-сигнализатор ДП-64: 1 – пульт сигнализации; 2 – тумблер “контроль-работа”; 3 – тумблер “Вкл-Выкл”; 4 – кабель питания; 5 – блок детектирования; 6 – индикаторная лампочка (световой сигнал); 7 – лампа (звуковой сигнал).

ИНДИКАТОР ВНЕШНЕГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ «БЕЛЛА» (рис. 3.4) предназначен для оперативной оценки населением радиационной обстановки в бытовых условиях. Прибор позволяет определить величину мощности эквивалентной дозы гамма-излучения:

- грубая оценка - звуковые сигналы;

- точная оценка - показания на цифровом табло. Конструктивно «БЕЛЛА» выполнен в виде портативного прибора, носимого в кармане одежды. Диапазон определения мощности эквивалентной дозы 0,02-9,999 мР/ч (0,2-99,99 мкЗв/ч). Питание индикатора «БЕЛЛА» осуществляется от батарей.



Рис. 3.4. Индикатор бытовой «Белла»: 1 – выключатель питания; 2 – крышка отсека питания; 3 – цифровое табло; 4 – кнопка “МЭД-контр.питания” для включения режима

определения МЭД и контроля напряжения батареи питания; 5 – индикатор напряжения батареи питания; 6 – выключатель режима «ПОИСК».

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ДОЗЫ (РЕНТГЕНМЕТР) ДП-5В (рис. 3.5) предназначен для измерения уровня радиации, мощности экспозиционной дозы γ -излучения и степени радиоактивного загрязнения (заражения) различных предметов по гамма-излучению, а также обнаружения β -излучения на поверхности объекта. Диапазон измерений рентгенметра от 0,05 мР/ч до 200 Р/ч. Прибор имеет звуковую индикацию с помощью головных телефонов. При обнаружении радиоактивного заражения в телефонах прослушиваются щелчки, причем их частота увеличивается с увеличением мощности дозы гамма-излучений. В блоке детектирования установлено два газоразрядных счетчика (рис. 8).

Погрешность измерений не превышает $\pm 30\%$ от измеряемой величины. Работоспособность прибора проверяется контрольным бета препаратом, укрепленным в углублении на экране блока детектирования (зонда), после внешнего осмотра и проверки наличия источника питания.

Источник питания ДП-5В состоит из трех элементов (один из них для подсветки шкалы) типа 1,6 ПМЦ-Х-1,05 (КБ-1) - приборный марганцево-цинковый элемент, хладостойкий (от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$) с $U = 1,6$ В и емкостью 1,05 Ач. Непрерывная работа прибора не менее 55 ч, потребляемый ток примерно 200 мА. Питание прибора от внешнего источника напряжения постоянного тока 12 В или 24 В. Преобразователь прибора обеспечивает питание газоразрядных счетчиков напряжением постоянного тока 390-400 В.

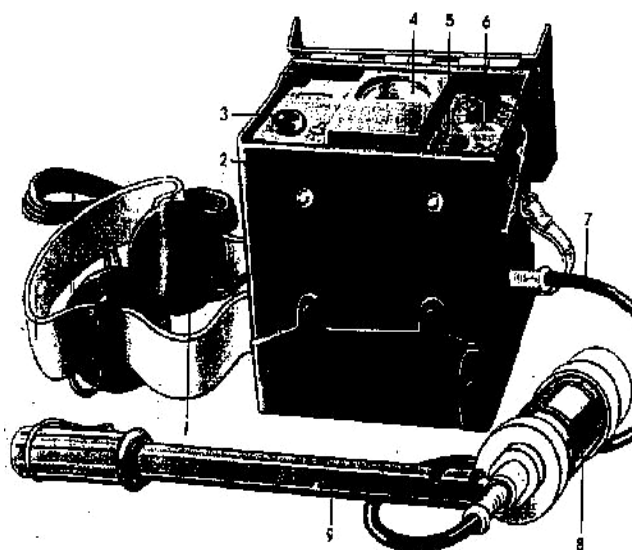


Рис. 3.5. Измеритель мощности дозы (рентгенметр) ДП-5В: 1–телефоны; 2–футляр с крышкой; 3–тумблер подсвета шкалы микроамперметра; 4–шкала микроамперметра; 5–кнопка сброса показаний микроамперметра; 6–переключатель диапазонов; 7–гибкий кабель; 8–блок детектирования; 9–удлинительная штанга.

Подготовка прибора ДП-5В к работе заключается в следующем. Проверить установку источника питания. Переключатель поддиапазонов установить против черного треугольника («Режим»), при этом стрелка прибора должна остановиться в режимном секторе, обозначенном на шкале.

Если этого не произойдет, заменить источник питания. Затем проверить работоспособность прибора от бета-препарата, для чего поставить поворотный экран зонда в положение «К», подключить головные телефоны и последовательно, с небольшой задержкой, переводить ручку переключателя поддиапазонов во все положения от $\times 1000$ до $\times 0,1$.

Если прибор работоспособен, в телефонах будут слышны щелчки, и стрелка микроамперметра должна зашкаливать или отклоняться в зависимости от поддиапазона. Кнопкой «Сброс» стрелку прибора возвращают на нулевую отметку шкалы.

Для измерения:

а) уровня радиации на местности экран зонда устанавливается в положение «Г». Зонд упорами вниз удерживается на высоте 0,7-1 м от земли. Измерения проводятся последовательно с максимального поддиапазона и далее, пока стрелка микроамперметра не отклонится и не остановится в пределах шкалы. Показания прибора умножаются на соответствующий коэффициент поддиапазона.

б) гамма-заражения объектов производится, как правило, на незараженной или слабо зараженной местности или в защитном сооружении. Зонд устанавливается в поддиапазоне «Г», подключаются головные телефоны. При измерении $P_{\text{эксп}}$ (мР/ч, Р/ч) зонд располагается на расстоянии 1-1,5 см от поверхности объекта.

Если же измерения степени радиоактивного загрязнения различных поверхностей объектов будут вестись на радиоактивно зараженной местности, то необходимо измерить вначале γ -фон и затем вычесть его из полученного значения $P_{\text{эксп}}$ вышеуказанным способом. Величину γ -фона определяют, располагая зонд прибора на расстоянии 15-20 м от зараженного объекта и на высоте 0,7-1 м от земли.

в) бета-заражения поверхности объекта экран зонда прибора устанавливается в положение «Б». Измерения производятся на расстоянии 1-1,5 см от поверхности объекта. При этом измеряется мощность дозы суммарного β -, γ -излучения. Увеличение показаний прибора на одном и том же поддиапазоне, по сравнению с показаниями по гамма-излучению, свидетельствует о наличии бета-излучения.

РЕНТГЕНМЕТР ИМД-2Н – прямопоказывающий микропроцессорный прибор, предназначенный для измерения мощности дозы

γ -излучения в диапазоне энергии от 0,08 МэВ до 3МэВ. Он аналогичен прибору ДП-5В и имеет герметичный корпус, большую логарифмическую шкалу с подсветкой и ремень для удобства переноски. ИМД-2Н прост в управлении: переход с одного диапазона на другой происходит автоматически; постоянно готов к работе и отличается высокой надежностью измерений; имеет устройство, сигнализирующее о разряде источника питания – световая сигнализация срабатывает при снижении напряжения питания до 4 В. Диапазон рабочих температур -50° до $+55^{\circ}\text{C}$. Время работы с одним комплектом батарей типа А343 до 100 ч.

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ДОЗЫ (РЕНТГЕНМЕТР) ИМД-5. Рентгенметр ИМД-5 приходит на смену ДП-5В. Прибор выполняет те же функции и в том же диапазоне, что и ДП-5В. По внешнему виду, ручкам управления и порядку работы он практически не отличается от ДП-5В. В нем есть свои некоторые конструктивные особенности. Например, питание осуществляется от двух элементов А-343, которые обеспечивают непрерывную работу в течение 100 ч.

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ДОЗЫ (РЕНТГЕНМЕТР) ИМД-1Р (рис. 3.6) предназначен для измерения в полевых условиях, рассеянном дневном свете и в темноте мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и обнаружения бета-излучения.

Диапазон измерения от 0,01 мР/ч до 999 мР/ч и он разбит на 2 поддиапазона:

«mR/h» (мР/ч) с пределами измерений от 0,01 до 999 мР/ч;

«R/h» (Р/ч) с пределами измерений от 0,01 до 999 Р/ч;

ИМД-1Р состоит из: пульта измерительного 1; блока детектирования 2 (ИМД-1-1); блока питания 3 (ИМД-1-2); батарейного отсека 4; устройства переходного 5 (УУМ); комплекта кабелей 9 с ШР; телефона 6; жгута 7; футляра и ремня прибора 8.

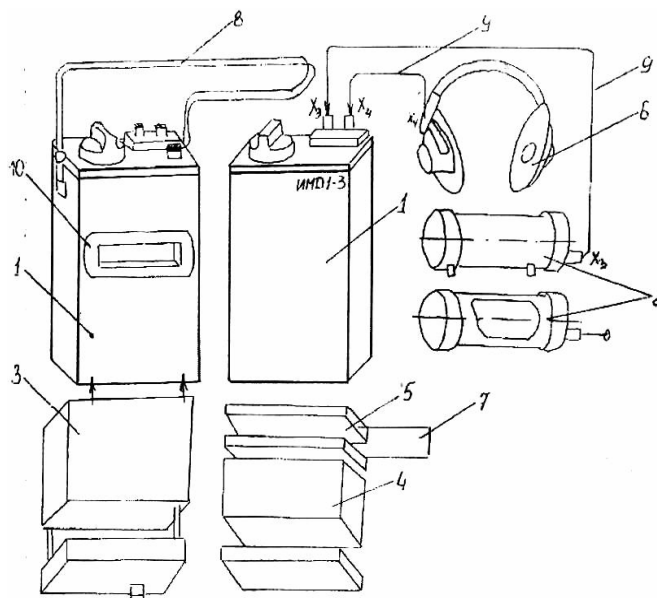


Рис.3.6. Измеритель ИМД-1Р и органы регулировки: 1 – пульт измерительный; 2 – блок детектирования; 3 – блок питания (ИМД-1-2); 4 – батарейный отсек; 5 – устройство переходное (УУМ); 6 – телефон ТГ-7м; 7 – жгут; 8 – ремень; 9 – комплект кабелей СШР; 10 – окно для считывания информации.

Проверка работоспособности ИМД-1Р проводится в такой последовательности:

1. Подключить питание.
2. Установить переключатель на пульте в положение «ПРОВЕРКА», при этом:
 - на цифровом табло должно высветиться число 102;
 - должен включиться прерывистый звуковой сигнал.
3. Нажать и отпустить кнопку «ОТСЧЕТ», при этом:
 - на цифровом табло в младшем разряде должна высветиться цифра «0»;
 - звуковой сигнал должен отключиться.
4. Убедиться, что через время не более 225 с на цифровом табло высветится число, отличное от нуля.
5. Установить переключатель на пульте измерительном в положение «ВЫКЛ».
6. Подключить к пульту измерительному 1 блок детектирования 2 (ИМД-1-1).
7. Провести операции согласно пунктам 2 и 3.
8. Убедиться, что через время не более 120 с на цифровом табло установятся показания, отличные от нуля.
9. Подключить головные телефоны 6 и убедиться в наличии щелчков в телефоне с интенсивностью, соответствующей фоновому излучению.

Порядок работы:

1. Подготовить измеритель к работе.
2. При необходимости контролирования измеряемой величины на слух - подключить головные телефоны.
3. Проведение измерений:
 - А). Для измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в диапазоне от 0,01 до 999 Р/ч необходимо выполнить следующее:
 - а) установить переключатель на пульте измерительном 1 в положение «R/h» (в этом случае используется один газоразрядный счетчик в приборе, блок детектирования не требуется);
 - б) через 1 мин. нажать кнопку «ОТСЧЕТ» и зафиксировать показания цифрового табло.
 - Б). Для измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в диапазоне от 0,01 до 999 мР/ч необходимо (в этом случае используется два блока детектирования):

- а) подключить блок детектирования к измерительному пульту;
- б) зафиксировать поворотный экран на корпусе блока детектирования в положении « γ -»;
- в) установить переключатель на пульте измерительном 1 в положение «mR/h»;
- г) через 2 мин. нажать кнопку «ОТСЧЕТ» и зафиксировать показания цифрового табло.

4. Для определения заражения поверхности радиоактивными веществами необходимо (Рэксп, в мР/ч):

- а) подключить блок детектирования к измерительному пульту;
- б) зафиксировать поворотный экран на корпусе блока детектирования в положении « γ -»;
- в) установить блок детектирования на зараженную поверхность с помощью специальных выступов на корпусе блока;
- г) установить переключатель на пульте измерительном в положение «mR/h»;
- д) через 2 мин. нажать кнопку «ОТСЧЕТ» и зафиксировать показания цифрового табло.

5. Для обнаружения бета-излучения необходимо:

- а) провести измерения согласно пункту 4;
- б) зафиксировать поворотный экран на корпусе блока детектирования в положении « $\beta+\gamma$ »;
- в) установить блок детектирования на зараженную поверхность с помощью специальных выступов на корпусе блока;
- г) через 1 мин. нажать кнопку «ОТСЧЕТ» и зафиксировать показания цифрового табло. Увеличение показаний по сравнению с показаниями, полученными при измерении согласно пункту 4, указывает на наличие бета-излучения.

6. В случае срабатывания в процессе измерений световой индикации на измерительном пульте разряда элементов «Сменить батареи», необходимо выключить измеритель и сменить комплект элементов.

Приборы для контроля облучения

КОМПЛЕКТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ДП-22В предназначен для измерения экспозиционной дозы гамма-излучения с помощью прямо показывающих дозиметров ДКП-50А. В комплект входит 50 дозиметров ДКП-50А, зарядное устройство ЗД-5, техническая документация и футляр.

Диапазон измерений от 2 до 50 Р при изменении мощности дозы γ -излучения от 0,5 р/ч до 200р/ч. Погрешность измерений $\pm 10\%$. Саморазряд дозиметров не превышает 4 Р в сутки. В ЗД-5 два сухих элемента 1,6ПМЦУ-2 (приборный марганцево-цинковый элемент универсальный) с э.д.с. 1,6 В и емкостью 8 Ач. Время непрерывной работы 30 ч при $j_{\max}=200$ мА. Напряжение на выходе ЗД-5 - 180-250 В, питающее электроды ИК.

Принцип действия дозиметров типа ДКП-50А (рис. 3.7) и ИД-1 основан на следующем: при воздействии ионизирующего излучения на заряженный дозиметр в объеме конденсаторной ионизационной камеры возникает ионизационный ток, уменьшающий потенциал конденсатора 3 и ИК. Уменьшение потенциала пропорционально дозе облучения. Измеряя изменение потенциала, можно судить о полученной дозе. Измерение потенциала производится с помощью малогабаритного электроскопа, помещенного внутри ИК. Отклонение подвижной системы электроскопа – платинированной визирной нити 4 – измеряется с помощью отсчётного микроскопа 10 со шкалой, отградуированной в рентгенах (Р) или радах (рад). Зарядный потенциал ИК выбран в пределах от 180 до 250 В.

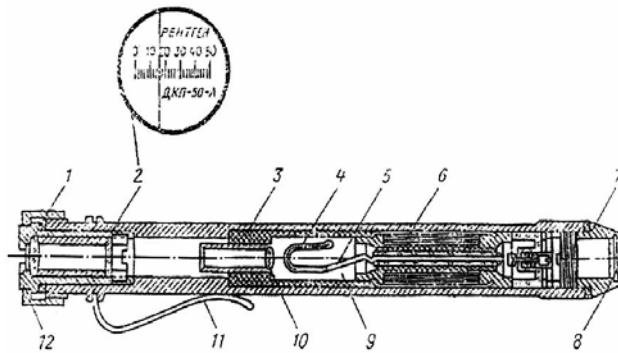


Рис. 3.7. Дозиметр ДКП-50-А: 1 – окуляр; 2 – шкала; 3 – корпус камеры (катод); 4 – платинированная нить; 5 – центральный электрод (анод); 6 – конденсатор; 7 – защитная оправа; 8 – стекло; 9 – ионизационная камера; 10 – объектив; 11 – держатель; 12 – гайка.

Подготовка комплекта к действию состоит из внешнего осмотра, проверки комплектности и зарядки дозиметров ДКП-50А.

Для подготовки дозиметра ДКП-50А к работе необходимо его зарядить: отвинтить защитный колпачок 7 дозиметра и колпачок 3 зарядного гнезда ЗД-5; повернуть ручку регулятора напряжения 2 влево до отказа; вставить дозиметр в зарядное гнездо 6; нажать на дозиметр и, наблюдая в окуляр, плавным вращением ручки регулятора напряжения 2 по часовой стрелке установить изображение нити на «0» шкалы; вынуть дозиметр из зарядного гнезда, завернуть защитный колпачок дозиметра и зарядного гнезда. Показание дозиметра снимается на свету при вертикальном положении нити.

КОМПЛЕКТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ИД-1 предназначен для измерения поглощенных доз смешанного гамма-нейтронного излучения в диапазоне от 20 до 500 рад (0,2-5 Гр). В состав комплекта входят: 10 дозиметров ИД-1; зарядное устройство ЗД-6; футляр со штативом на 10 гнезд; техническая документация.

Комплект предназначен для небольших формирований и учреждений ГОЧС. Подготовка комплекта и эксплуатация прибора аналогичны ДП-22В.

Зарядка дозиметров ИД-1 производится от зарядного устройства ЗД-6. Принцип работы зарядного устройства основан на следующем: при вращении ручки по часовой стрелке рычажный механизм создает давление на пьезоэлементы (кристаллы), которые, деформируясь, образуют на торцах разность потенциалов, приложенную таким образом, чтобы по центральному стержню подавался «плюс» на центральный электрод, а по корпусу – «минус» на внешний электрод конденсаторной ионизационной камеры дозиметра.

Примечание. Пьезоэлектрический эффект состоит в появлении электрических зарядов на границах некоторых кристаллов (пьезоэлектрики) при их сжатии или растяжении. В качестве кристаллов могут использоваться: сегнетовая соль, кварц, фосфат аммония, фосфат калия, керамика титаната бария и др.

Порядок зарядки дозиметра ИД-1 на зарядном устройстве следующий: повернуть ручку зарядного устройства против часовой стрелки до упора, вставить дозиметр в зарядно-контактное гнездо; направить его зеркало на внешний источник света; добиться максимального освещения шкалы поворотом зеркала; нажать на дозиметр и, наблюдая в окуляр, поворачивать ручку устройства по часовой стрелки до тех пор, пока изображение нити на шкале дозиметра не установится на «0»; вынуть дозиметр из гнезда и проверить положение нити на свет: при вертикальном положении нити её изображение должно быть на «0».

Комплект измерителей дозы

Предназначен для индивидуального контроля облучения людей с целью первичной диагностики радиационных поражений.

Индивидуальный измеритель дозы ИД-11 обеспечивает измерение поглощенной дозы гамма- и смешанного гамма-нейтронного излучения в диапазоне от 10 до 1500 рад.

Комплект состоит из 500 индивидуальных измерителей дозы ИД-11, измерительного устройства ИУ-1, двух кабелей питания, технической документации и запасных частей.

Регистрация доз гамма- и смешанного гамма-нейтронного излучения осуществляется с помощью алюмофосфатного стекла, активированного серебром. Доза излучения суммируется при периодическом облучении и сохраняется в дозиметре в течение 12 месяцев. Масса ИД-11 равна 25 г.

Измерительное устройство ИУ-1 может использоваться как в стационарных, так и в полевых условиях. Его питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, а также от аккумуляторов напряжением 12 или 24 В. Масса измерительного устройства 18 кг.

3.3. Обзор современного состояния и тенденции развития дозиметрического и радиометрического оборудования (по материалам ТЦ Поиск, 2007)

Обзор касается дозиметрического и радиометрического оборудования внесенного в Госреестр средств измерений РФ и имеющего сертификат утверждения типа и применяемое в службах ГО и ЧС.

В обзоре рассмотрены приборы индивидуального дозиметрического контроля, переносные (инспекционные) дозиметры и радиометры, а также лабораторные приборы для измерения содержания радионуклидов в пробах пищевых продуктов, кормов, стройматериалах и объектов окружающей среды.

До конца 80-х годов разработка и производство дозиметрических и радиометрических приборов было сосредоточено в нескольких предприятиях принадлежащих Минсредмашу. Приборы разрабатывались в основном в Союзном НИИ приборостроения (СНИИП, Москва), Минском научно-исследовательском приборостроительном институте (МНИПИ). Производство же приборов осуществлялось на заводах: «Электрон» (г. Желтые Воды, Украина), им. Ленина (Киев, Украина), «Балтиец» (г. Нарва, Эстония), «Импульс» (г. Пятигорск, Россия), «Сигнал» (г. Обнинск). В новых экономических и политических условиях первые три завода на Украине и Эстонии перестали работать полностью, два последних завода работали с трудом из-за разрывов связей с разработчиками. В настоящее время эта аппаратура производится и поставляется разными предприятиями различных форм собственности.

В настоящее время в мире наиболее широко применяются следующие типы индивидуальных дозиметров:

- конденсаторного типа прямопоказывающие дозиметры («карандаши»);
- термолюминесцентные, радиофотолуминесцентные (слепые) дозиметры;
- электронные прямопоказывающие дозиметры.

Конденсаторные дозиметры («карандаши»)

Конденсаторные дозиметры широко применялись для задач ГО и ЧС в СССР. Преимущество дозиметров данного типа – простота в эксплуатации, низкая стоимость и оперативность получения результата: результат измерения показывается прямо в окуляре дозиметров. Дозиметры выпускались в следующих комплектах:

- ДП-22В — одно зарядное устройство ЗД-5 и 50 шт. дозиметров ДКП-50-А;
- ДП-24 — одно зарядное устройство ЗД-5 и 5 шт. дозиметров ДКП-50-А;
- ИД-1 — одно зарядное устройство ЗД-6 и 10 шт. дозиметров ИД-1;
- ДК-02 — одно зарядное устройство ЗД-4 и 10 шт. дозиметров ДК-02.

Первые три комплекта предназначались для длительного применения в условиях боевых действий с применением ядерного оружия при определении выживаемости личного состава с лучевым поражением, поэтому имели диапазон измерения: ДКП-50-А до 50 Р (рентген), ИД-1 до 500 Р. Поэтому их показания при коротких по времени радиационных ЧС недостоверны, трудно определить небольшие приращения доз. ДК-02 имел диапазон измерения до 200 мР (миллирентген), но имел другой недостаток — саморазряд дозиметров из-за утечек заряда.

В настоящее все вышеуказанные дозиметры не выпускаются, но начат выпуск дозиметров ИД-02 с диапазоном измерения до 200 мР. В них устранен недостаток ДК-02 (саморазряд дозиметров) применением новых негигроскопичных изоляционных материалов в конденсаторах дозиметров.

Термолюминесцентные, радиофотолюминесцентные дозиметры

Радиофотолюминесцентные дозиметры применялись в дозиметрическом комплекте ИД-11. Радиофотолюминесцентные дозиметры представляют собой стеклянные детекторы в металлическом корпусе. В состав комплекта дозиметров входят кроме самих дозиметров также и считывающее устройство. Недостатком данных типов дозиметров является то, что накопленная доза не стирается при считывании, и поэтому небольшие приращения доз на фоне ранее накопленных доз определяются с большой погрешностью. Для стирания доз с дозиметров применяются специальные высокотемпературные печи. Комплект радиофотолюминесцентных дозиметров ДВГ-713-РФЛД выпускается фирмой «Люмэкс» (С-Петербург). К недостаткам радиофотолюминесцентных дозиметров, препятствующими их применение в целях ГО и ЧС, также можно отнести и то, что они не получили широкого применения в индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) в мире, и в частности в России, и поэтому их показания можно считывать только собственным считывающим устройством, которое может оказаться недоступным в условиях ЧС.

Термолюминесцентные дозиметры широко применяются для ИДК во всех медицинских учреждениях и радиационно-опасных объектах РФ. Дозиметры представляют собой пластмассовую кассету с кристаллическими детекторами, обычно 2-мя (4–5 мм в диаметре). Считывание доз с дозиметров производится периодически в соответствии с регламентом, принятом в предприятии (обычно раз в несколько месяцев или сразу после аварийных ситуаций).

Термолюминесцентные дозиметры обладают очень широкими диапазонами измерения — от 50 мкЗв (5 миллирентген) до 10–50 Зв (1000–5000 Р). В состав комплекта дозиметров входят кроме самих термолюминесцентных дозиметров также и считывающие устройства с компьютером, что обеспечивает автоматизацию процесса считывания и ведения базы данных по дозам персонала. Термолюминесцентные дозиметры относительно недороги и удобны для ИДК большого количества персонала с применением одного считывающего устройства.

В настоящее время в мире и в России используются следующие типы комплекта термолюминесцентных дозиметров: Dosakus (Финляндия), Harshaw (США), АКЖДК-201, ДВГ-02Т (Россия). Комплект Harshaw (США) использует детекторы, несовместимые с детекторами, выпускаемыми в России. Комплект Harshaw (США) не внесен в Госреестр СИ РФ.

Комплект Dosakus (Финляндия) внесен в Госреестр СИ РФ и применяется во многих АЭС России. Комплект Dosakus является автоматом, оператор заряжает около 20-ти дозиметров в приемное устройство считывателя, дальнейшее считывание происходит автоматически. Недостатком данного комплекта, препятствующим его применению в условиях ГО и ЧС, является то, что нагрев детекторов производится в потоке горячего азота и для работы комплекта постоянно необходим азотопровод (как на АЭС) или баллон со сжатым азотом, и расход азота довольно большой. Кроме того, считыватель стоит свыше 50 тыс. долларов, работа с комплектом требует высокой квалификации оператора.

В комплекте АКЖДК-201 нагрев детекторов производится СВЧ полем, комплект удобен в работе. Считыватель данного комплекта стоит свыше 20 тыс.долларов. Комплект также является полуавтоматом и работает только с тем комплектом дозиметров, с которым произведена поставка из завода, т.е. считывание дозиметров, которые не входили в комплект поставки или расширение комплекта дозиметров требуют перенастройки прибора и программного обеспечения.

Таким образом, применение комплектов Dosakus и АКЖДК оправданно при обслуживании персонала АЭС и предприятий численностью в несколько тысяч человек в стационарных условиях.

Комплект ДВГ-02Т ручной, т.е. считывание производится непосредственно с детекторов, входящих в дозиметр, дозиметры взаимозаменяемы. Может применяться не только для дозиметров гамма-излучения, но и дозиметров для кожи рук, лица и хрусталика глаза. Стоимость считывателя около 9 тыс.долларов, дозиметра с 2-мя детекторами – 340 руб. ДВГ-02Т оптимален для применения для текущего и аварийного индивидуального дозиметрического контроля в условиях ЧС.

Электронные прямопоказывающие дозиметры

Для ИДК применяются также и электронные прямопоказывающие дозиметры. Они представляют собой прибор с детектором, электронным табло, аккумулятором и сигнализацией о превышении заданных уровней по дозе или мощности дозы, поэтому они дорогостоящие и применяются для ограниченного круга персонала АЭС, занятого радиационно-опасными ремонтными работами. В настоящее время внесены в Госреестр СИ РФ следующие типы электронных дозиметров: RAD-52 (Финляндия), РМ-1603 (Р.Беларусь), ДКГ-05Д(Россия).

В то же время надо учитывать, что применение вышеуказанных дозиметров целесообразно при их использовании в общей системе ИДК: с ведением дознаряда, с автоматическим считыванием дозы и ведением общей базы данных с текущим ИДК и внутреннего облучения с помощью спектрометров излучения человека.

Поэтому для ИДК оперативных служб при ЧС более подходящими являются автономные (несистемные) портативные (карманные) многофункциональные дозиметры. В настоящее время внесены в Госреестр СИ РФ следующие типы таких дозиметров:

ДКГ-02У (Россия)

ДКГ-03Д (Россия)

РМ-1203 (Р.Беларусь)

МКС-05 (Украина)

В первых 2-х дозиметрах (ДКГ-02У, ДКГ-03Д) чувствительность примерно в 3 раза выше, чем у остальных. Эти дозиметры обеспечивают как определение уровня излучения (измерение мощности дозы), так и измерение полученной оператором дозы и также, как например, в ДКГ-03Д определение радиационной опасности звуковым сигналом, частота которого пропорциональна мощности дозы.

Переносные (инспекционные) дозиметры и радиометры

Для задач ГО и ЧС в СССР применялись радиометры-рентгенометры ДП-5А, ДП-5Б, ДП-5В. Эти приборы имели выносные блоки детектирования, которые обеспечивали определение уровня гамма-излучения (измерение мощности дозы), а также индикацию бета-загрязненности.

Необходимо отметить, что в качестве детекторов у приборов ДП-5 применялись газоразрядные счетчики, допускающие простую замену из ЗИП персоналом не особо высокой квалификации.

Во многих приборах, выпускаемых сегодня, в качестве детекторов применяются сцинтилляторы, довольно хрупкие кристаллические материалы. Они применяются в комплекте с фотоэлектронными умножителями (ФЭУ) со стеклянными корпусами или фотодами, на которые приклеиваются специальными клеями, что не допускает их оперативную замену в заводских условиях.

В настоящее время выпускаются и внесены в Госреестр СИ РФ следующие приборы, выполняющие аналогичные функции:

- радиометр-дозиметр ДКС-96 (Россия)
- радиометр-дозиметр МКС-РМ 1402М (Р.Беларусь)
- радиометр-дозиметр МКС-1117М (Р.Беларусь)
- радиометр-дозиметр ДРБП-03 (Россия)

Радиометр-дозиметр ДКС-96 является многофункциональным прибором обеспечивающим проведение комплексного радиационного контроля: измерение гамма-, бета-, альфа- и нейтронных излучений путем смены блоков детектирования. ДКС-96 может комплектоваться 10 типами блоков детектирования. В связи с этим управление прибором довольно сложно и предъявляет повышенные требования к квалификации оператора.

Радиометр-дозиметр ДРБП-03 функционально является наиболее близким аналогом приборов ДП-5. Прибор компактен и легок, комплектуются 2-мя типами блоков детектирования (гамма- и бета), применяемые детекторы — недорогие газоразрядные счетчики. Прибор имеет также наушные телефоны со звуковым сигналом, частота которого пропорциональна уровню излучения. Кроме того, ДРБП-03 имеет отдельные детекторы, расположенный в пульте прибора, определяющие дозу, которую получил оператор.

В настоящее время выдержала испытания новая серия приборов (дозиметр-радиометр МКС-07Н и бортовой/стационарный дозиметр ДКГ-07БС), серия ИМД-7, разработанные на современной элементной базе и обладающие метрологическими, климатическими и прочностными характеристиками, соответствующими современным требованиям для полевых и бортовых приборов. Данные приборы планируются принятие на оснащение в системах МО РФ и МЧС России.

Для немногочисленных специальных задач комплексного радиационного контроля ГО и ЧС, для которых ранее применялись приборы типа РУП-1, также могут применяться Радиометры-дозиметры ДКС-96 с необходимыми блоками детектирования (гамма-, бета-, альфа- нейтронные).

Лабораторные приборы для измерения содержания радионуклидов в пробах

Для измерения содержания радионуклидов в пробах (определение объемной и удельной активности) ранее применялись радиометрические приборы типа ДП-100, РУБ и другие.

В настоящее время для указанных задач применяются гамма- и бета-спектрометрические установки. Эти установки используют два типа блоков детектирования: полупроводниковые и сцинтилляционные. Полупроводниковые детекторы работают при низких температурах и для работы требуют постоянной заливки жидким азотом. Полупроводниковые спектрометры имеют высокое энергетическое разрешение и широко используются в АЭС, радиохимических и других производствах, где необходимо определение нестандартного радионуклидного состава проб с высокой точностью.

Для рутинных же задач в России с успехом используются сцинтилляционные гамма- и бета-спектрометры, развитое программное обеспечение которых позволяют определять объемные и удельные активности наиболее часто встречающихся нуклидов (цезий-137, кобальт-60, стронций-90, радий-226, калий-40 и др.).

В настоящее время внесены в Госреестр СИ РФ и используются в России следующие спектрометрические установки:

- спектрометрические установки «Прогресс» (Россия)
- спектрометрические установки «Гамма-плюс» (Россия)
- спектрометрические установки «Гамма-1С» (Россия)
- спектрометрические установки СЕГ, СЕБ (Украина)
- спектрометрические установки МКС-АТ1315 (Р.Беларусь)
- портативные спектрометры установки «Спутник» (Россия)
- спектрометры «Ortec» (США)
- спектрометры «Canberra» (США)

И полупроводниковые и сцинтилляционные спектрометры представляют собой стационарные установки с блоками детектирования в свинцовой защите, многоканальным анализатором и компьютером с программным обеспечением, кроме портативных спектрометров типа «Спутник», где многоканальный анализатор встроен в блок детектирования. Спектрометр «Спутник» имеет портативный пульт, в процессор которого «зашито» программное обеспечение для стандартных задач спектрометрии. В случае необходимости информация с памяти пульта может быть обработан подсоединенным компьютером с расширенным программным обеспечением.

3.4. Бытовые приборы для измерения ионизирующих излучений

Детектор-индикатор радона



Рис. 3.8. Детектор-индикатор радона QUARTEX

Прибор предназначен для оценки эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона-222 в воздухе жилых и общественных помещений. Определение ЭРОА основано на электростатическом осаждении на поверхность детектора заряженных частиц дочерних продуктов радона. Объемная активность радона определяется по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде Po^{218} (RaA) и Po^{214} (RaC').

Изделие позволяет непрерывно оценивать значение ЭРОА, анализировать динамику изменения ЭРОА и определять усредненное значение ЭРОА.

Изделие имеет сертификат соответствия РФ.

Изделие выполнено в виде портативного переносного прибора с автономным питанием.

Таблица 3.4

Технические характеристики прибора QUARTEX

Чувствительность	отн.ед	0,64±0,05
Уровни срабатывания порогового табло: желтый красный	Бк/м ³	100±40 200±60
Диапазон показаний ЭРОА	Бк/м ³	от 50 до 8000
Собственный фон изделия	Бк/м ³	менее 10
Время установления рабочего режима	мин	не более 20

Цикл измерения	час	4
Источник питания два элемента питания типа LR14G	В	1,5
Температурный диапазон	°С	+10...+35
Время непрерывной работы (при элементах питания типа DURACELL ULTRA)	час	не менее 480
Габаритные размеры	мм	не более 188x60x74
Масса (без элементов питания)	кг	не более 0,65

Детектор-индикатор радиоактивности КВАРТЕКС РД 8901



Рис. 3.9. Детектор-индикатор радиоактивности КВАРТЕКС РД 8901

Предназначен для самостоятельной оценки радиоактивной загрязнённости (суммарной, по гамма+бета) твёрдых и жидких продуктов питания, предметов быта, строительных материалов и окружающей среды.

Разработан в соответствии с Положением о метрологическом статусе, порядке разработки, постановке на производство и поверке дозиметрических и радиометрических приборов для населения.

Результаты оценки – цифровая информация в микрорентгенах за час через 0,5 минуты после включения.

Повышение надёжности измерения обработкой результатов (арифметическим усреднением) для снижения влияния флуктуации естественного гамма-фона.

Мгновенная информация сразу после включения при опасно высоком (выше 999 мкР/ч) уровне радиации.

Возможность работы в режиме «поиск» для обнаружения источника радиации.

Гарантийный срок эксплуатации – три года со дня продажи через розничную торговую сеть, при поставках для внеыночного потребления – со дня получения потребителем.

Таблица 3.5

Технические характеристики прибора КВАРТЕКС РД 8901

Датчик	отн.ед	газоразрядный счётчик Гейгера – Мюллера типа СБМ-20-1
Диапазон измерений	мкР/час	0...999
Диапазон энергий	МэВ	0,1 ... 1,25
Цикл измерений	с	34±4
Относительная погрешность измерений	%	~30
Температурный диапазон	°С	-45...+55
Время непрерывной работы от батареи с номинальным напряжением 9В при уровне естественного фона 10...30 мкР/ч, не менее	с	3
Питание (батарея 6(PL)F22)	В	9
Габаритные размеры	мм	146x60x25
Вес	кг	0,12

Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД 1503



Рис. 3.10. Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД 1503

Предназначен для оценки мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения населением в бытовых условиях (продукты питания, стройматериалы, почва и т.д.), а также может быть использован персоналом, работающим с источниками ионизирующих излучений. Кроме того, он позволяет обнаруживать загрязненность объектов бета-активными радионуклидами.

Прибор подсчитывает количество гамма и бета - частиц с помощью счетчика Гейгера - Мюллера в течение 40 с и индицирует показания в мкЗв/час или мкР/час на жидкокристаллическом дисплее. Регистрация каждой частицы сопровождается звуковым сигналом, что позволяет реализовать режим "Поиск".

В приборе реализованы следующие функции: изменение размерности значений, изменение порогов срабатывания звуковой сигнализации, уточнение показаний по мере увеличения продолжительности замера, отключение звукового сигнала, включение подсветки дисплея, сообщения МЕНЮ могут быть реализованы на языке заказчика.

Таблица 3.6

Технические характеристики прибора РАДЭКС РД 1503

Диапазон показаний мощности дозы	мкЗв/ч	от 0.05 до 9.99
Диапазон показаний мощности экспозиционной дозы	мкР/ч	от 5 до 999
Диапазон энергий гамма-излучения	МэВ	от 0,1 до 1,25
Воспроизводимость показаний (при доверительной вероятности 0.95), где Р – мощность дозы в мкЗв/ч	%	15+6/Р
Уровни звуковой сигнализации	мкЗв/ч	0.30, 0.60, 1.20
	мкР/ч	30, 60, 120
Время наблюдения	с	40 ± 0.5*
Индикация показаний		непрерывно
Элемент питания типа «ААА»	шт	один или два
Время непрерывной работы изделия, не менее	часов	550**
Габаритные размеры высота x ширина x толщина, не более	мм	105x60x26
Масса изделия (без элементов питания), не более	кг	0,09
* Увеличение количества наблюдений приводит к повышению достоверности показаний.		
** От двух элементов питания с ёмкостью 1350мАч, при уровне естественного фона не более 0,3 мкЗв/ч и заводских настройках изделия.		

3.5. Современное обеспечение радиационно-экологического мониторинга на АЭС

(Чебышов и др., 2007)

Важнейшими условиями развития атомной энергетики является повышение ее безопасности и минимизация воздействия радиации на человека и окружающую среду. Аварии на атомных станциях, предприятиях и военных объектах обострили внимание к обеспечению безопасности этих объектов, соблюдению технологических процессов, контролю за их работой и влиянием на окружающую среду. В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) к объектам радиационного мониторинга отнесены:

- потенциальные источники радиоактивного загрязнения (в первую очередь радиационные объекты);
- окружающая среда (объекты окружающей среды, среда обитания человека, в том числе жилище, сельскохозяйственная и животноводческая продукция, пища, вода, воздух и т.д.);
- сам человек (определение доз от внешнего и внутреннего облучения и расчет суммарных дозовых нагрузок).

Анализ задач, решаемых при проведении радиационного контроля на АЭС и предприятиях ядерного топливного цикла (ЯТЦ), в том числе в хранилищах радиоактивных отходов (РАО), а также в научных центрах, позволил выделить общие основные виды радиационного контроля, характерные для этих объектов (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Основные измерительные задачи, реализуемые на радиационно- и ядерно-опасных объектах

Тип объекта		Горнорудные	Ядерно-химические	Изготовление ядерного топлива	АЭС
Измерительные задачи					
Мощность дозы γ -излучения		+	+	+	+
Плотность потока нейтронов		+	+	+	+
Загрязненность поверхности	α	1	1	1	1
	β		+		+
Аэрозоли			+	+	+
Аэрозоли и пары йода-131			+		+
Радиоактивные инертные газы			+		+
Тритий		+	+		
Радиоактивные жидкости			+	+	+
Радон и продукты распада		+	+		
Несанкционированное перемещение радиоактивных веществ и ЯДМ		+	+	+	+
Идентификация радионуклидного состава контролируемой среды		+	+	+	+

Основная задача проведения радиационного контроля – ведение производственно-технологических процессов или решение научных задач в условиях контроля над источником ионизирующего излучения, обеспечение контроля радиационной обстановки и радиационной безопасности. В случае возникновения радиационной аварии (потери контроля над источником излучения) проводимые мероприятия и применяемые технические

средства должны обеспечить локализацию места аварии, определение уровня аварии, прогноз радиационной обстановки и дать экспертные рекомендации по осуществлению действий, направленных на ликвидацию последствий аварии. Измерения, проводимые при радиационном контроле с помощью аппаратуры (систем, комплексов и отдельных приборов), направлены на информационное обеспечение текущего, оперативного и аварийного контроля. Как правило, текущий контроль осуществляют с помощью стационарной аппаратуры, оперативный контроль – с помощью переносной или носимой аппаратуры.

На рис. 3.11 представлен, на примере АЭС, структурированный состав основных типов задач радиационных измерений.

Объект измерений в данном случае структурирован на три основных компоненты – «источник», «объект» и «окружающая среда». Под «источником» в данном случае подразумевается реакторная установка, «объект» – включает в себя здания, сооружения и технологическое оборудование, непосредственно не входящее и не относящееся к реакторной установке. Радиационный контроль окружающей среды включает в себя радиационные измерения на промплощадке, а также в СЗЗ и ЗН. Очевидно, что данная структуризация может быть применена практически к любому радиационно- или ядерно-опасному объекту. Причем для «источника» превалирующим является радиационно-технологический контроль – примерно 80...90 %, остальную часть составляет контроль радиационной обстановки для задач коллективной дозиметрии. Соотношение пропорций в объеме контроля «объекта» существенным образом меняются и примерно становятся равными, т.е. 50 % – технологический контроль и столько же составляет радиационный дозиметрический контроль.

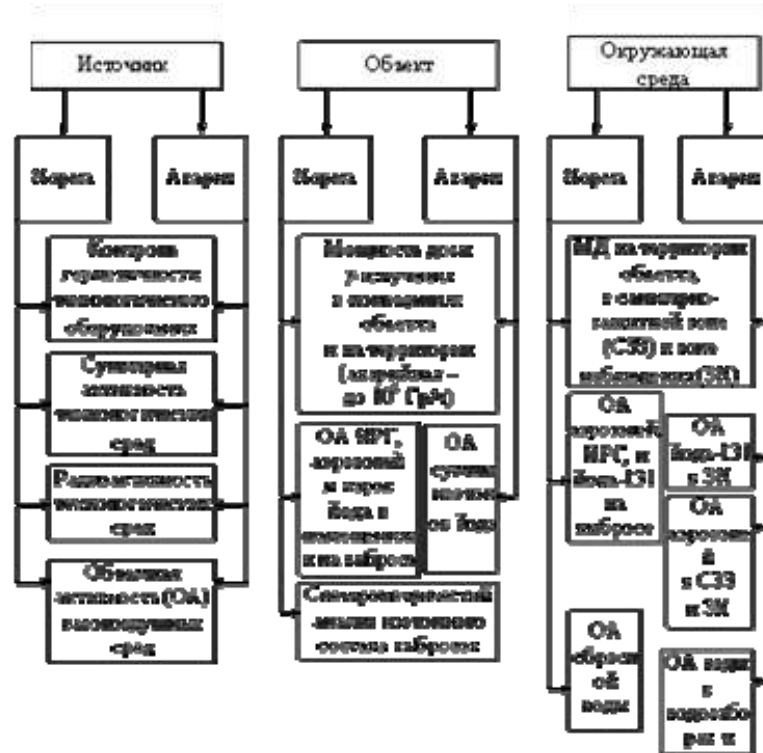


Рис. 3.11. Типовые измерительные задачи радиационного мониторинга АЭС

Увеличение объема дозиметрического контроля связано с существенным возрастанием числа помещений и зон присутствия обслуживающего персонала. При радиационном контроле окружающей среды преимущественными являются задачи измерения присутствия радионуклидных компонент в воздухе, воде, а также в различных пробах. Поми-

мо этого в задачи радиоэкологического контроля включено обнаружение и предотвращение аппаратными средствами несанкционированного перемещения радиоактивных и делящихся материалов. Таким образом, на основании многолетнего опыта эксплуатации радиационно-опасных объектов, в соответствии с НРБ-99 и ряда других нормативных документов в состав задач радиационно-экологического мониторинга вошли измерения радиоактивности: газовойоздушных выбросов; воздуха окружающей среды; сбросных жидкостей; вод экосистемы; донных отложений; проб пищевых продуктов, воды, земли и пр.; поверхностного загрязнения; обнаружение несанкционированного перемещения радиоактивных и делящихся веществ.

Основу приборов составляют высокочувствительные датчики, которые обеспечивают:

- оперативное измерение радиационного фона,
- радиоактивности воздуха, воды в реках, озерах, системах водоснабжения, почвы, продуктов питания и т.д.

Созданные авторами датчики позволяют обнаружить появление радиации на ранних стадиях зарождения аварийной ситуации. Полученная с помощью наших приборов информация позволяет реально оценить радиационную обстановку на АЭС и в окружающей среде, и принять адекватные действия по обеспечению безопасной эксплуатации АЭС и минимизации ее воздействия на окружающую среду. В настоящее время основной объем информации о состоянии радиационной обстановки на объекте и о его влиянии на окружающую среду централизованно собирается и обрабатывается автоматизированными системами контроля радиационной обстановки – АСКРО. АСКРО обеспечивает радиационный мониторинг АЭС и прилегающих территорий (в том числе населенных пунктов), газовых и аэрозольных радиоактивных выбросов, охлаждающей и технологической воды. Структурная схема системы представлена на рис. 3.12. Она состоит из двух подсистем: *первая* – позволяет получать информацию о радиоэкологическом состоянии окружающей среды. Это очень важный компонент, поскольку непосредственно связан с обеспечением безопасности населения. Основу этой подсистемы составляют стационарные посты, которые располагают на прилегающих к АЭС территориях и в населенных пунктах. Стационарные посты, помимо измерителей климатических параметров (температура, давление, влажность, скорость ветра), оборудованы радиационными мониторами, которые непрерывно измеряют мощность дозы фотонного излучения.

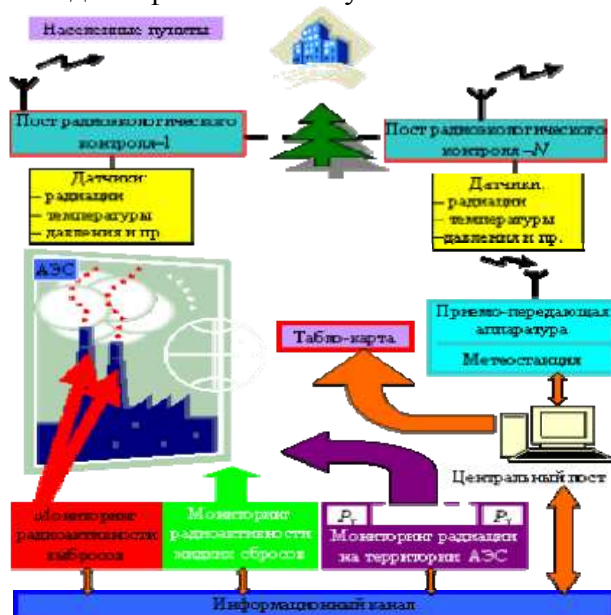


Рис. 3.12. Структура системы АСКРО

Дополнительно посты могут быть оснащены приборами для радиоактивного (α - и β -излучения) анализа проб воды, почвы, растительности, донных отложений и пищевых продуктов, измерения концентраций радиоактивных аэрозолей и радиоактивных выпадений. Для визуализации измеренных параметров посты оснащаются специализированными табло, что очень важно при размещении их в населенных пунктах (рис. 3.13)

Информационный обмен между центром и периферийными постами реализуется с использованием сотовой телефонной связи. При необходимости сотовая связь может быть продублирована дополнительным каналом связи.



Рис. 3.13. Средства визуализации информации

Вторая подсистема представляет собой комплекс приборов и блоков детектирования, которые позволяют измерять:

- мощность дозы γ -излучения на территории АЭС (рис. 3.14);



Рис. 3.14. Измерение мощности дозы фотонного излучения

- мощность дозы γ -излучения при мониторинге транспорта и персонала на пропускных пунктах (рис. 3.15);

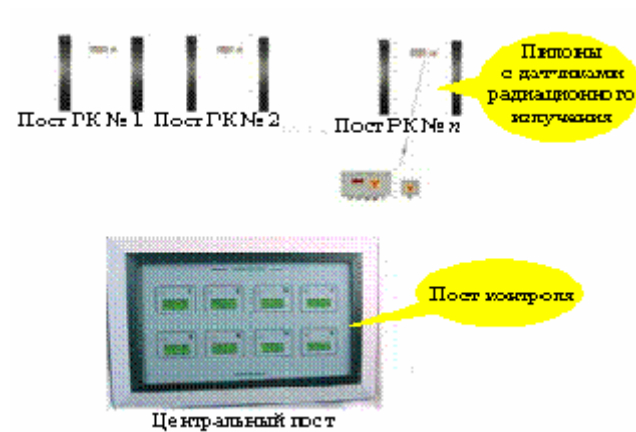


Рис. 3.15 Радиационные мониторы РИГ-08 для обнаружения радиационного загрязнения и предотвращения незаконного перемещения радиоактивных веществ

– радиоактивность аэрозолей и газовых выбросов (рис. 3.16);

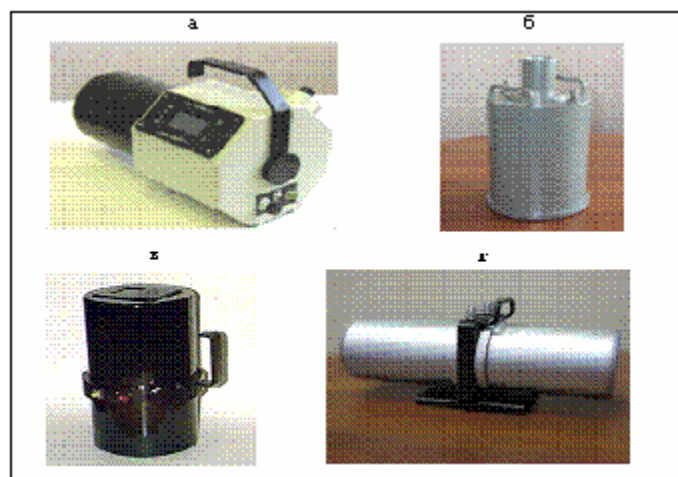


Рис. 3.16. Приборы для измерения радиоактивных газовых выбросов: а – РГА-06 – измерение концентрации радона; б – БДГБ-40П – измерение ОА Ar, Kr, Xe; в – БДГА-01П – измерение α -активных газов; г – РБГ-08 – измерение ОА Ar, Kr, Xe в вентиляционных системах и помещениях АЭС

– радиоактивность воды, сбрасываемой в бассейн-охладитель, и технической воды, образующейся при проведении работ на АЭС, радиоактивность донных отложений (рис. 3.17).

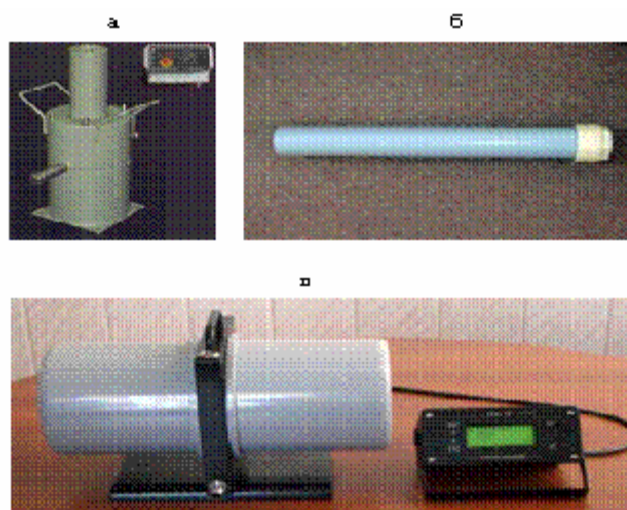


Рис. 3.17. Приборы для измерения радиоактивности жидких сбросов: а – проточный радиометр жидкости РЖК-11М; б – погружной блок детектирования БДИГ-31П2Ж – предназначен и для измерения объемной активности в жидких средах, в том числе сбросных водах АЭС, β - γ -излучающих радионуклидов по фотонному излучению; в – радиометр жидкости РЖБ-11П – предназначен для измерения объемной активности β -излучающих радионуклидов в очищенных сбросных технологических водах

Компьютерная обработка позволяет получать не только оперативную информацию, но и определять суточные, месячные и годовые тренды радиационных параметров. Информация, поступающая от первой и второй подсистем, объединяется на центральном посту. В состав центрального поста помимо сервера и компьютера рабочего места оператора введено панорамное устройство – «табло-карта» для оперативного и наглядного информирования пользователей о радиозоологическом состоянии окружающей среды. Дополнительно, для расширения функциональных возможностей используются переносные приборы (рис. 3.18), позволяющие оперативно и с высокой чувствительностью обнаруживать и локализовывать радиационное загрязнение.

Основные особенности предлагаемой системы АСКРО (радиационного мониторинга) состоят в следующем:

- высокая чувствительность и оперативность измерений радиационно-экологических параметров;
- комплексная оценка радиозоологического состояния окружающей среды;
- широкие возможности для решения радиозоологических и технологических измерений на АЭС и других ядерно-опасных объектах.



Рис. 3.18. *Переносные приборы: α-радиометр РЗС10М предназначен для измерения мощности эффективной дозы фотонного излучения, измерения плотности потока α, β-частиц; переносной радиометр нейтронов РПН-12П для измерения плотности потока нейтронного излучения и поиска источников нейтронного излучения*

Для упрощения использования приборов и блоков детектирования они поставляются в законченном функционально-конструктивном виде, что позволяет достаточно легко подключать их к коммуникациям объекта (трубопроводы, вентсистемы, сбросные коллекторы и пр.) и в тоже время они оснащены как локальными средствами отображения, так и коммуникационными разъемами для включения их в объектовые информационные системы. Интерфейс обмена информацией выполняется в соответствии со спецификацией существующей объектовой системы или техническим заданием заказчика. В таблице 3.5 представлен – основной перечень приборов для радиационно-экологического мониторинга. Предлагаемые технические средства могут быть использоваться и как автономные приборы, и как компоненты в составе систем измерения, контроля и управления радиационно-опасных объектов.

Отличительные особенности блоков детектирования:

- высокая чувствительность измерений;
- возможность раннего обнаружения радиационной аномалии;
- оперативность измерений (получение информации в реальном времени);
- повышенная устойчивость к воздействию внешних неблагоприятных факторов – климатические условия, вибрация и удары, внешний радиационный фон, электромагнитные поля.

Таблица 3.8

Основной перечень приборов для радиационно-экологического мониторинга

Тип	Наименование	Назначение	Диапазон измерения
Системы	Система радиационного контроля АСРК-07 (АСРМ-07)	Непрерывное измерение радиационного фона и обнаружение радиационных аварий. Число измерительных каналов – до 300	0,05...3 мЗв/ч
Установки стационарные	Радиационный монитор РМГ-08 (РМГ-08)	Радиационный монитор в радиационных средах	0,05...3 мЗв/ч
	Радиационный монитор РМГ-08ИМ	Портативный радиационный монитор	0,05...3 мЗв/ч
Приборы стационарные	Радиометр РЭС-11М	Измерение ОА β-радиоизлучения с точностью 10%	3,7...3,7·10 ⁶ Бк/л
	Радиометр газа РГГ-08И	Измерение ОА ²²² Rn, ²²² Ra, ²²⁶ Ra, ²¹⁰ Pb и инертных газов и альфа-излучения АЭС	1...3,7·10 ⁶ Бк/л
Приборы переносные серии РЭС-1С-2	Радиометр РЭС-11П	Измерение ОА β-радиоизлучения с точностью 10% в водной среде	3,7...3,7·10 ⁶ Бк/л
	Радиометр газа РГГ-08И	Измерение ОА ²²² Rn в воздухе	5...4·10 ⁶ Бк/л
	Радиометр-дозиметр РЭС-10М	Измерение дозы ионизирующего излучения и плотности потока β- и α-частиц	(β): 5...30·10 ⁴ (част./дм ² ·с) (α): 0,5...1·10 ⁴ (част./дм ² ·с) (γ): 0,05...30 мЗв/ч
	Радиометр РЭС-10М1 (РЭС-10М1)	Измерение плотности потока β-частиц	5...30·10 ⁴ част./дм ² ·с
	Радиометр РЭС-10М2 (РЭС-10М2)	Измерение плотности потока α-частиц	0,5...1·10 ⁴ част./дм ² ·с
	Радиометр РЭС-10М1.2 (РЭС-10М1.2)	Измерение плотности потока β-и α-частиц	(β): 5...30·10 ⁴ (част./дм ² ·с) (α): 0,5...1·10 ⁴ (част./дм ² ·с)
	Дозиметр ионизационный РЭС-10М3 (РЭС-10М3)	Измерение дозы ионизирующего излучения	0,05...30 мЗв/ч
	Радиометр РЭС-01Р (РЭС-01Р)	Измерение удельной активности β-радиоизлучения в жидких средах	3,7...3,7·10 ⁶ Бк/л

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Многоуровневый экологический мониторинг в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа

(Лобковский и др., 2007)

На основе анализа передового зарубежного опыта создания систем контроля окружающей среды в районе функционирования морских нефтегазовых промыслов специалистами Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН разработана технология многоуровневого экологического мониторинга. Эта разработка позволит в масштабе времени, близком к реальному, осуществлять контроль и прогнозирование негативных последствий техногенных загрязнений акватории (а в сейсмоопасных районах — геодинамической активности) и обеспечивать необходимой информацией процесс принятия адекватных управленческих решений для минимизации ущерба.

Крупнейшие мировые компании ТЭК, вовлеченные в добычу углеводородного сырья на морском шельфе, системно работают над повышением экологической безопасности морских операций, одним из направлений чего является совершенствование осуществляемого ими экологического мониторинга. Экологический мониторинг морских акваторий в ходе производственной деятельности способствует сближению интересов государства и бизнеса, связанных с использованием и освоением шельфовой зоны.

Организация эффективного экологического мониторинга производственной деятельности предприятий ТЭК на морском шельфе становится все более актуальной, в первую очередь, из-за расширения добычи и транспортировки углеводородного сырья, что в аварийных ситуациях может приводить к негативным последствиям для прибрежных территорий. Согласно Морской доктрине Российской Федерации на период до 2020 г., утвержденной указом Президента РФ №ПР-1387 от 27.07.2001, «предотвращение загрязнения морской среды» — одно из основных положений, относящихся к обеспечению национальных интересов в Мировом океане. Одним из принципов национальной морской политики является «развитие систем мониторинга за состоянием морской природной среды и прибрежных территорий». Особенно актуальны задачи экологического мониторинга при освоении месторождений в Каспийском море (см. «Специальные экологические и рыбохозяйственные требования для проведения геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья в заповедной зоне в северной части Каспийского моря на лицензионных участках «Северный», «Восточно-Ракушечная» и «Северо-Каспийская площадь», утвержденные МПР РФ в 2005 году). В последние годы экологическому мониторингу морских акваторий уделяется гораздо больше внимания, чем раньше. В частности, Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук (ИОРАН) выполнил работы в рамках проекта ФЦНТП Минобрнауки «Создание системы многоуровневого регионально-адаптированного экологического и геодинамического мониторинга морей Российской Федерации, в первую очередь шельфа и континентального склона», в результате которых была разработана система информационного обеспечения промышленной и экологической безопасности объектов обустройства месторождения нефти и газа на морском шельфе.

Одна из ведущих нефтяных компаний ОАО «ЛУКОЙЛ» создала специальные программы производственного экологического мониторинга для разработки месторождений на Каспийском море и Кравцовского месторождения на Балтийском море, где уже установлена морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП Д-6). При этом следует отметить широкое использование спутникового мониторинга юго-восточной Балтики в качестве одной из основных компонент контроля экологического состояния окружающей среды. Недостатком мониторинга, проводимого на Д-6, является отсутствие технических

средств проведения мониторинга состояния морской среды на самой МЛСП Д-6 (там установлена только автоматическая метеостанция).

В 2005 г. Морская коллегия при Правительстве РФ поручила Минпромэнерго, МПР, Минобороны, Минобрнауки, Росгидромету совместно с РАН проработать вопрос использования морских буровых платформ, осуществляющих разведочное или эксплуатационное бурение на континентальном шельфе России, в качестве технологических носителей системы комплексного многоуровневого экологического и метеорологического мониторинга, а в сейсмоактивных районах и геодинамического мониторинга. Специалистами ИОРАН были подготовлены предложения по этой проблеме, представленные как официальные предложения РАН. Для ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» ИОРАН совместно с ГУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр» подготовил конкретные предложения по техническим средствам и информационной системе экологического мониторинга при обустройстве месторождения им. Ю. Корчагина.

В данной статье кратко описаны основные составляющие разработанной технологии многоуровневого экологического мониторинга.

Комплексный многоуровневый мониторинг морской среды

Система постоянного контроля за объектами недропользования в морских акваториях должна обеспечивать информацию о ключевых параметрах морской среды в реальном времени с целью оценки текущих воздействий, с одной стороны, на объекты недропользования, с другой — на важнейшие компоненты морских экологических систем. Основная задача оперативного экологического мониторинга заключается в контроле за возможными техногенными загрязнениями. Раннее обнаружение утечек загрязняющих веществ необходимо для своевременного принятия мер по предотвращению крупных аварий. Данные длительного мониторинга используются для отслеживания состояния ключевых экологических параметров и для выделения антропогенных факторов на фоне естественных природных трендов. Это позволяет прогнозировать негативные последствия и принимать адекватные решения для минимизации риска ущерба.

Система экологического мониторинга должна обладать следующими характеристиками:

- иметь многоуровневую структуру (рис. 1.1);
- обеспечивать непрерывную информацию об изменении ключевых параметров состояния взаимодействующих природных сред: приземного слоя атмосферы, поверхности моря, водной толщи, морского дна, включая осадочный слой и земную кору;
- использовать многосенсорный подход с применением современных дистанционных и контактных технических средств и методов;
- быть экономически эффективной и основанной преимущественно на отечественных технологиях;
- быть регионально-адаптированной с учетом региональных особенностей шельфовой зоны, локальной структуры и динамики экосистем и характера антропогенной нагрузки, а также учитывать особенности регионального климата.

При этом должны быть использованы новые научно-технические решения, включая автоматизацию измерений, робототехнику, а также тематические методы обработки спутниковой информации и распознавания сигналов.

Технические средства комплексного экологического мониторинга

Технический комплекс многоуровневого экологического мониторинга должен включать следующие подсистемы:

- гидрометеорологического мониторинга;
- мониторинга присутствия нефтяных загрязнений в морской среде;
- геодинамического мониторинга;
- мониторинга состояния объектов недропользования с судна;
- спутникового мониторинга;
- информационного обеспечения.



Рис. I.1. Многоуровневая структура измерительных средств системы экологического мониторинга для нефтедобывающих платформ на морском шельфе: 1 – искусственные спутники дистанционного зондирования Земли; 2 – радиолокатор кругового обзора; 3 – метеостанция; 4 – лидарный комплекс; 5 – подводный профилирующий зонд; 6 – измеритель волнения и уровня моря; 7 – сонар толщины морского льда; 8 – сейсмическая станция подсистемы геодинамического мониторинга; 9 – судовой комплекс мониторинга морской акватории. Измерители 2 – 4 устанавливаются непосредственно на платформе, измерители 6 – 7 – на дне.

Подсистема гидрометеорологического мониторинга предназначена для:

- определения опасных метеорологических и гидрологических явлений, представляющих угрозу сооружениям и персоналу нефтедобывающей платформы;
- диагностики поступления и переноса загрязняющих веществ с соседних участков акватории;
- получение исходных метеорологических и гидрологических данных для прогноза распространения нефтяного загрязнения (при аварийных разливах нефти);
- информационное обеспечение безопасности судового и воздушного сообщения между нефтедобывающей платформой и берегом.

К числу измеряемых этой подсистемой характеристик относятся следующие: параметры состояния приземного слоя атмосферы, облачность, осадки, уровень моря, характеристики волнения, вертикальный профиль скорости морских течений, толщина морского льда, температура и соленость воды. Критерии наблюдаемых опасных явлений гидрометеорологического режима должны соответствовать инструкциям Росгидромета. При этом применяются гидрометеорологические приборы, соответствующие по своим техническим характеристикам требованиям нормативно-методических документов, в том числе ГОСТа.

Автоматическая метеорологическая станция должна быть размещена на открытой площадке (стреле), исключаящее экранирующее влияние сооружения на показания измерительных приборов, и оснащена следующими датчиками:

- температуры воздуха,
- скорости и направления ветра,
- атмосферного давления,
- парциального давления водяного пара (влажности),
- атмосферных осадков,
- видимости,
- высоты нижнего края облачности.

Основа подводной части подсистемы гидрометеорологического мониторинга — заякоренный автоматический профилирующий комплекс «Аквазонд» (рис. 1.2) — своего рода морской грузовой лифт. Этот прибор перемещает полезный груз — измерительную аппаратуру, передвигаясь по тросу, натянутому вертикально между подповерхностной плавучестью и донным якорем. В отличие от традиционных буйковых постановок с размещением приборов на фиксированных горизонтах, в данном случае измеряются непрерывные вертикальные распределения (профили) параметров среды и биоты, что позволяет точно оценивать как дифференциальные, так и интегральные характеристики этих распределений. Наряду с этим носитель может останавливаться — «зависать» на нужное время, чтобы произвести измерения на заданных горизонтах. Передача данных с «Аквазонда» осуществляется по ходовому тросу с помощью магнитных модемов и далее по кабелю или по подводному гидроакустическому каналу в подсистему информационного обеспечения на нефтедобывающей платформе.

В стандартной комплектации «Аквазонд» оснащен измерителем температуры, электропроводности и давления типа NXIS, предназначенным для длительного автоматического мониторинга и защищенным от биологического обрастания с помощью специальных средств. Этот измеритель может быть доукомплектован дополнительными датчиками для гидрохимических определений содержания растворенных метана, углекислого газа и кислорода. В стандартную комплектацию «Аквазонда» также входит акустический доплеровский измеритель течений Aquadop3D. Измерители такого типа широко применяются на нефтяных платформах таких компаний, как BHP, BP Inc., Chevron, Conoco Phillips, Shell, Exxon в Мексиканском заливе у побережья США и на шельфе о. Сахалин. Принцип действия этих приборов основан на измерении сдвига частоты акустических волн, отражаемых взвешенными частицами, которые переносятся морскими течениями. Поскольку модуляция акустического сигнала происходит из-за наличия взвешенных частиц, данный измеритель может быть использован для определения содержания взвеси в воде, что важно для контроля экологической обстановки вблизи скважины.

По выбору заказчика для измерений течений и волнения предлагается использовать либо акустические доплеровские измерительные системы, либо классические мареографы, выполняющие прецизионные измерения колебаний давления столба воды (уровня моря), вызванных ветровыми волнами, зыбью, приливами и стонно-нагонными явлениями.

В северных морях для измерения толщины льда рекомендуется использовать подводный сонар типа SWIP, также широко применяемый за рубежом, в том числе вблизи нефтяных платформ в полярных районах. Этот измеритель обеспечивает наблюдения за кромкой подводной части морского льда с высокой точностью (не хуже 0,05 м) путем измерения времени прохождения акустического сигнала в вертикальном направлении от излучателя, установленного на дне, до нижней границы льда.

Измерители уровня моря и толщины льда устанавливаются на дне в специальных рамах. Передача данных с этих приборов осуществляется по специальному армированному кабелю, выдерживающему нагрузки во время интенсивных штормов.

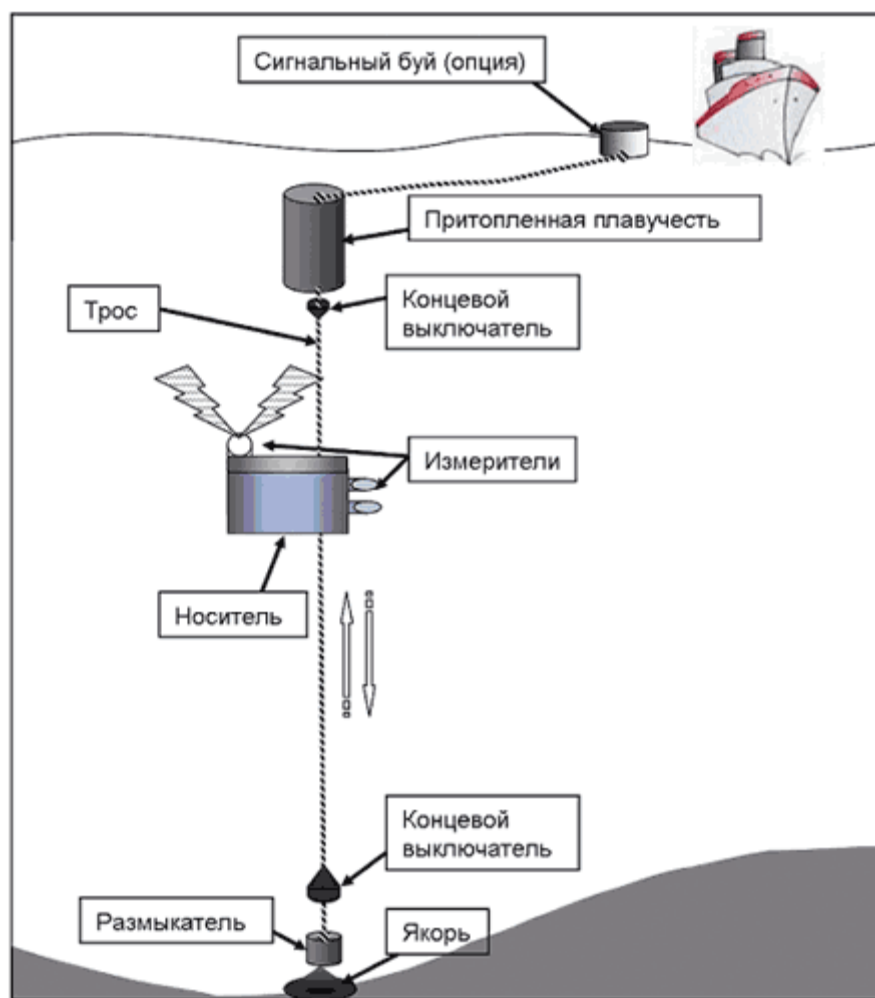


Рис. 1.2. Схема буйковой постановки гидрологической профилирующей системы «Аквазонд»

Подсистема работает полностью в автоматическом режиме. Техническое обслуживание подводной части, включая очистку аппаратуры от биообрастания, проводится не чаще, чем 1 раз в 3 месяца.

Достоинством подсистемы является режим контроля в реальном времени — все данные измерений непрерывно поступают в микропроцессорную подсистему информационного обеспечения непосредственно на платформе.

Подсистема мониторинга присутствия нефтяных загрязнений в морской среде обеспечивает:

- обнаружение утечки и присутствие нефти на водной поверхности на расстоянии до 100 м от нефтяной платформы (с возможностью количественной оценки обнаруженной утечки) посредством лидара и от 100 м до 2-3 км с помощью радиолокационной станции;
- обнаружение маломерных плавсредств в радиусе 5-7 км и контроль за надводной обстановкой в зоне морской нефтедобывающей платформы в радиусе 12-14 км (в зависимости от высоты установки и балльности моря) посредством радиолокационной станции.

Подсистема представляет собой уникальный комплекс, включающий лидарную и радиолокационную системы, взаимно дополняющие друг друга. Комплекс работает в автоматическом режиме.

Нефть и нефтепродукты интенсивно флуоресцируют при возбуждении светом ультрафиолетового диапазона, причем спектры флуоресценции разных типов нефтепро-

дуктов существенно различаются по интенсивности и форме. Нефтяные загрязнения на поверхности моря можно обнаружить и идентифицировать посредством флуоресцентных лидаров.

В результате большой методической работы было показано, что лидар может не только обнаруживать загрязнения нефтепродуктами вокруг платформы, но и позволяет оценивать толщину нефтяной пленки, давая тем самым возможность количественной оценки обнаруженной утечки.

В рамках настоящей работы предлагается устанавливать лидарный комплекс (рис. 1.3) непосредственно на буровую платформу. Комплекс, включающий два приемо-передающих модуля, обеспечивает возможность кругового обзора близлежащей акватории площадью не менее $3 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ (при размещении на нефтедобывающей платформе на высоте 30 м над уровнем моря). Сеанс зондирования проводится в течение 10 минут с периодичностью каждые 6 часов при пространственном разрешении 2 м или в течение 5 минут с периодичностью каждые 3 часа при разрешении 4 м. По результатам зондирования формируется двумерная развертка отображения водной поверхности с обнаруженными пятнами нефтяных загрязнений (если таковые имеются).



Рис. 1.3. Многофункциональный флуоресцентный лидар в судовом варианте

В состав стандартного лидарного комплекса, помимо двух приемо-передающих модулей, входит бортовой модуль управления, обработки, отображения и хранения результатов зондирования. По условиям эксплуатации лидарные модули должны размещаться в

кондиционированных кабинах. Регламентные работы с лидарами проводятся ежеквартально специально обученным персоналом.

Для обнаружения нефтяных пленок на расстояниях более 100 м от платформы предлагается использовать радиолокационную станцию. При утечке нефти на поверхности воды образуются пленки, которые влияют на поверхностные волны, в частности, уменьшают энергию волн, их дисперсию и крутизну наклонов. Сглаженная пленкой поверхность воды отражает падающие на нее электромагнитные волны в сторону от антенны радиолокатора. Отразившись от выглаженной поверхности, радиоволны не возвращаются к радиолокатору, и участок, покрытый пленкой, отображается на мониторе радиолокатора черным тоном.

Специальная радиолокационная станция для обнаружения протяженных слабоконтрастных нефтяных пленок существенно отличается от навигационных радаров, предназначенных для обнаружения локализованных сильноконтрастных мишеней (суда и другие объекты). У сильноконтрастных объектов эффективная площадь рассеяния составляет 10-1000 м², у низкоконтрастных — 0,01-0,1 м². Специализированный радиолокатор использует когерентный приемо-передатчик и новые технологии сверхвысокочастотных антенн, благодаря чему удается на два порядка сократить время формирования изображения для обнаружения нефтяного пятна и снизить уровень фоновых помех. Преимущество такого радара также в низком уровне излучения, что позволяет устанавливать радар вблизи помещений, где находятся люди.

Подсистема геодинамического мониторинга предназначена для регистрации данных:

- о развитии процесса растрескивания твердой среды, признаках разрушения среды, выраженных в появлении микроземлетрясений, спровоцированных перераспределением порового давления;
- об изменениях углов наклона, наклонных перемещениях и колебаниях морской нефтедобывающей платформы с выработкой сигнала тревоги при превышении значения ускорения заданного порога.

В различных нефтегазоносных акваториях Мирового океана, в том числе на шельфах окраинных морей, зарегистрированы аномальные геодинамические события на разрабатываемых месторождениях углеводородов в форме деформаций и просадок, природно-техногенной сейсмичности, современной активизации разломов, горизонтальных смещений массивов горных пород, которые приводили к серьезным негативным промышленным и экологическим последствиям. Прогнозирование этих событий и снижение масштабов их последствий является актуальной практической задачей.

На первом этапе организации работ по геодинамическому мониторингу на шельфе в качестве базовых методов используются:

- режимные сейсмологические наблюдения с использованием донных сейсмостанций, а также наземных пунктов, расположенных на прилегающей суше;
- методы пассивной эмиссионной сейсмической томографии (шумовой 3D-локации), которые позволят оценивать состояние поля напряжений в объеме изучаемого месторождения углеводородов;
- геомеханическое моделирование последствий разработки месторождений.

Информация о развитии процесса растрескивания твердой среды, обрамляющей куст скважин, может быть получена с помощью системы сейсмологического мониторинга, развернутой в районе нефтедобывающей платформы. Наблюдения с помощью этой системы позволяют обнаружить признаки начала разрушения среды, выраженные в наличии микроземлетрясений, спровоцированных нарушением порового давления, если они происходят в районе месторождений. Опыт ИОРАН показывает, что донные сейсмографы, имеющие высокую чувствительность, способны регистрировать очень слабые (микро-) землетрясения с отрицательными магнитудами.

В состав подсистемы геодинамического мониторинга входят три донных сейсмографа, помещаемых в герметичные прочные корпуса, располагающиеся на дне акватории

на расстоянии примерно 300-500 м от платформы и содержащие блоки сейсмических датчиков с выносными гидрофонами. Сейсмометрические каналы донных сейсмических станции обеспечивают непрерывное измерение трех компонент скорости смещения морского дна в ортогональных друг к другу направлениях (одного вертикального и двух горизонтальных).

Сейсмические датчики размещаются на донном грунте в отдельном прочном корпусе, на котором закрепляется гидрофон; чувствительный элемент гидрофона непосредственно контактирует с водой. Гидрофонный канал сейсмографа обеспечивает непрерывное измерение колебаний давления воды в придонном слое в диапазоне частот от 3 до 30 Гц.

Блоки электроники обеспечивают усиление, частотную фильтрацию и непрерывную оцифровку информации от сейсмических датчиков и гидрофонов и передачу ее по кабелям на компьютер, расположенный на платформе.

На нефтедобывающей платформе размещаются следующие датчики:

- прецизионный наклономер;
- трехкомпонентный акселерометр;
- микропроцессорная система обработки информации.

Трехкомпонентный акселерометр должен непрерывно регистрировать ускорение колебаний платформы с выработкой сигнала тревоги при превышении значения ускорения заданного порога. Инклинометр предназначен для измерения малых углов наклона, наклонных перемещений и низкочастотных колебаний нефтедобывающей платформы.

Подсистема работает в автоматическом режиме. Интерактивный контроль состояния измерительной аппаратуры с использованием соответствующего программного обеспечения рекомендуется проводить ежедневно. Регламентные работы необходимо проводить 2 раза в год. Они включают подъем донных сейсмографов для очистки от обрастания гидрофонов, размыкателей, притопленных буев и корпусов донных станций; контроль и калибровку датчиков; установку сейсмографов на место (выполняется с маломерного судна); контроль и калибровку наклономера и акселерометра.

Подсистема мониторинга состояния объектов недропользования с судна предназначена для обнаружения и идентификации загрязнений нефтепродуктами на поверхности и в приповерхностном слое морской воды на удалении от нефтедобывающей платформы, а также для оценки содержания взвешенного вещества и его вертикального распределения в водной толще от поверхности до дна.

Выполнение этих задач может быть обеспечено оптическими приборами, — прозрачномером и флуориметрами, а также телеуправляемым подводным аппаратом (ТПА), оснащенный поворотными видеокамерами с осветителями.

В ИОРАН разработан погружаемый измеритель показателя ослабления света и температуры воды — прибор ПУМ (прозрачномер универсальный малогабаритный), предназначенный для исследования в режиме вертикального зондирования. Прибор может работать как в автономном режиме, так и в режиме реального времени.

Для выявления нефтяных загрязнений в водной толще предлагается использовать зонды-флуориметры, специально предназначенные для регистрации подобных загрязнений в морской среде.

Детальное обследование трубопроводов с одновременным определением их координат и картографированием расположения выполняются с использованием буксируемой аппаратуры и ТПА. ТПА двигается вдоль трубопровода, и операторы на судне фиксируют техническое состояние трубопровода (места провисания, нарушения гидроизоляции, состояние протекторов электрохимической защиты, состояние обрастания и т.д.).

Одним из пригодных для такого использования является аппарат ТПА «Гном» (рис. 1.4), разработанный в ИОРАН. Этот аппарат хорошо себя зарекомендовал в экологических работах МЧС РФ на о. Байкал, Балтийском и Белом морях. Средства для дистанционного управления аппаратом через компьютерные сети позволяют использовать его для долговременного мониторинга подводных объектов с передачей видеоинформации,

так же, как и телеметрии на любые расстояния через проводные и беспроводные (в том числе спутниковые) каналы связи.

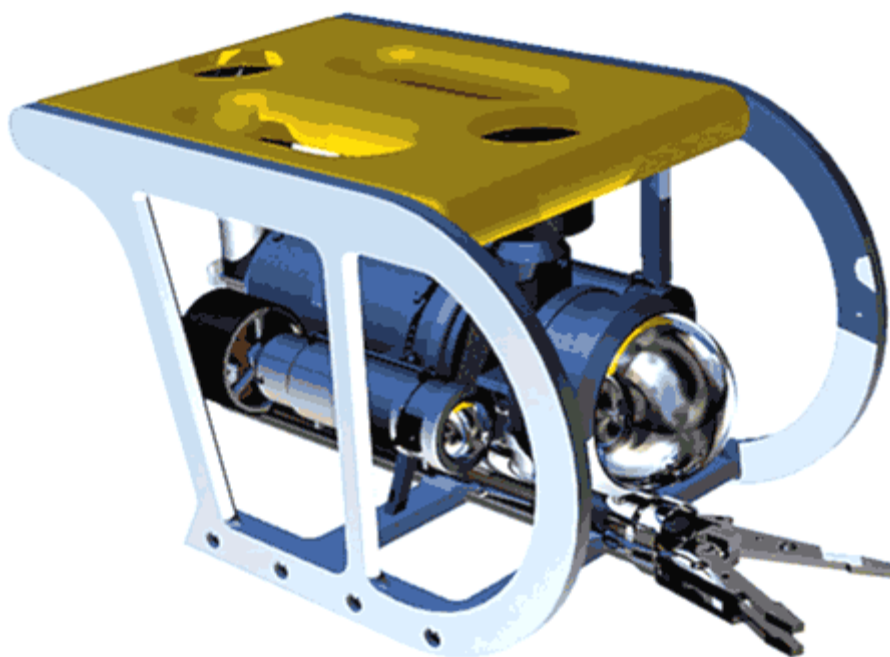


Рис. 1.4. Телеуправляемый подводный аппарат «Гном»

Подсистема спутникового мониторинга нефтяных загрязнений в первую очередь должна опираться на радиолокационные спутники. Она может обеспечить:

- обнаружение нефтяных пятен и источников их происхождения на обширной акватории,
- оценку направления и скорости перемещения нефтяных пятен.

Спутниковые радиолокационные наблюдения дают возможность получать одновременные изображения всей контролируемой акватории с пространственным разрешением до нескольких метров регулярно в течение многих лет.

Более широкое применение спутниковых методов с использованием сканеров цвета, ИК-радиометров, альтиметров и скатеррометров позволяет оценивать концентрации взвеси и хлорофилла, первичную продукцию в приповерхностном слое моря, а также температуру поверхности моря, скорость и направление приводного ветра, аномалии уровня морской поверхности. Спутниковые наблюдения обеспечивают регулярную последовательность пространственных распределений каждого из вышеуказанных параметров и позволяют своевременно обнаруживать происходящие изменения и выявлять их причины. Спутниковые наблюдения дают возможность отслеживать источники обнаруженных загрязнений и тем самым отличать загрязнения, обусловленные нефтегазодобывающей деятельностью, от загрязнений, не связанных с такой деятельностью.

Следует отметить, что спутниковый мониторинг, при всех своих достоинствах, не может по многим причинам заменить наблюдения, проводимые с платформы или судна; разработанная система комплексного многоуровневого мониторинга предполагает их оптимальное сочетание.

Основным предназначением *подсистемы информационного обеспечения* является сбор и обработка данных от различных подсистем наблюдений (стационарной, судовой, спутниковой), анализ полученной информации и передача созданной на его основе информационной продукции корпоративным органам управления промышленной и экологической

безопасностью и государственным органам управления природопользованием и охраной окружающей среды.

В информационную продукцию целесообразно включать следующие сведения:

- оценку техногенного воздействия, прогноз возможных негативных изменений в соответствующих элементах природной среды и природном комплексе в целом;
- рекомендуемые мероприятия, снижающие и локализирующие отрицательные последствия антропогенной деятельности.

Функционирование информационной подсистемы должно осуществляться в двух режимах: оперативном — *on-line* и в режиме получения обобщенной информации.

В то же время корпоративных информационных ресурсов часто бывает недостаточно для оценки и прогноза состояния и загрязнения морской среды в районах проведения работ. Это обусловлено лабильностью морских экосистем, находящихся под воздействием природных и антропогенных факторов, таких, как речной сток и поступление загрязняющих веществ с речными водами, водообмен с открытой частью моря. Недостаток информации может быть восполнен проведением наблюдений на Государственной наблюдательной сети, подведомственной Росгидромету. Интеграция корпоративного и государственного экологического мониторинга может рассматриваться как региональная система экологического мониторинга.

Следует отметить, что законодательство РФ накладывает определенные обязательства на природопользователей в части передачи полученной ими информации о состоянии окружающей среды уполномоченным государственным органам (Постановление Правительства РФ №1410 от 21.12.99 «О создании и ведении Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении», Постановление Правительства РФ №128 «Об утверждении положения о предоставлении информации о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении и чрезвычайных ситуациях техногенного характера, которые оказали, оказывают, могут оказать негативное воздействие на окружающую природную среду»).

Для устойчивого функционирования информационной подсистемы предполагается оснащение аналитического центра, выполняющего также функции оператора оборудованием для приема и передачи информации по спутниковым каналам связи, а также приобретение ГИС- и WEB-технологий управления данными, интеграции информационных ресурсов, анализа и визуализации поступающей информации. Аналогичное оборудование и программное обеспечение целесообразно установить в специализированном центре мониторинга в компании, ведущей разработку месторождения.

Приложение II

Актинометрические измерения (Моргунов, 2005; Хромов, Петросянц, 2006)

Закон Стефана-Больцмана

Замкнутая полость тела при постоянной температуре обладает электромагнитным равновесным излучением. При постоянной температуре стенок и условии равновесия излучение, заполняющее полость, называется равновесным тепловым излучением, а полость с отверстием – абсолютно черным телом. Полная энергия излучения абсолютно черного тела определяется только его температурой

$$\varepsilon = \sigma * T^4,$$

где $\sigma=5,67*10^{-8}$ Вт*м⁻²*град⁻⁴ – постоянная Стефана-Больцмана

Положение максимума спектра излучения абсолютно черного тела определяется законом Вина

$$\lambda_m * T = const,$$

где $const=0,2898$ см*град⁻¹.

Распределение энергии в спектре абсолютно черного тела описывается формулой Планка

$$\varepsilon(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} * e^{\left(\frac{h\nu}{kT}-1\right)},$$

где $h=6,626*10^{-34}$ Дж/с – постоянная Планка, $k=1,38*10^{-23}$ Дж/град - постоянная Больцмана.

Температуру Земли можно определить из уравнения теплового баланса

$$\sigma T_{ef}^4 = \frac{1}{4}(1 - A_3) * I_0.$$

$I_0=(1367\pm 3)$ Вт/м² – солнечная постоянная – среднее значение энергии, поступающей к границе атмосферы Земли при расстоянии ее от Солнца, равному 1 а.е.

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

Нагретая до температуры T_{ef} Земля излучает в ИК-диапазоне с максимумом вблизи $\lambda_m=10$ мкм.

В метеорологии излучение с длинами волн от 0,1 до 4,0 мкм относят к коротковолновому (99% излучения Солнца), от 4 до 100 мкм – к длинноволновому (около 1% солнечного излучения).

При уменьшении высоты Солнца над горизонтом резко уменьшается УФ-часть радиации, меньше – видимая, почти не изменяется ИК-часть.

Земной поверхности солнечная радиация достигает в виде прямой и рассеянной. Прямая радиация поступает на поверхность Земли от солнечного диска с видимым диаметром 0,5° и околосолнечной области диаметром 10°, рассеянная – на горизонтальную поверхность от всей небесной полусферы за исключением Солнца и околосолнечной области.

Интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность зависит от высоты h_S Солнца над горизонтом

$$E = E_0 \sinh_s,$$

где E_0 – интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность.

Суммарная радиация определяется как общий приход на горизонтальную поверхность прямой и рассеянной радиации

$$Q = E_0 + E_D,$$

где E_D – интенсивность рассеянной радиации на горизонтальную поверхность.

Соотношение между E_0 и E_D зависит от высоты Солнца над горизонтом и прозрачности атмосферы (наличия в атмосфере аэрозолей, рассеивающих газов, типов облаков). При ясном небе перед восходом Солнца суммарная радиация полностью состоит из рассеянной, перед заходом – преимущественно из рассеянной. При большой высоте Солнца над горизонтом преобладает прямая радиация, доля которой уменьшается при развитии облачности.

С увеличением высоты над уровнем моря доля прямой радиации возрастает.

В течение года количество солнечной радиации, поступающей к Земле изменяется ввиду изменения расстояния между Землей и Солнцем. Как известно, зимой Земля ближе к Солнцу, чем летом. Поэтому в январе Земля на границе атмосферы получает 1412 кВт/м², а в июле 1324 кВт/м².

Количество радиации, получаемое за сутки на границе атмосферы, зависит от времени года и широты местности. Под каждой широтой время года определяет продолжительность дневной части суток и, соответственно, приток радиации.

Актинометрические приборы и наблюдения

Основные актинометрические приборы: актинометр, пиранометр (альбедометр), балансомер.

Различают актинометры термоэлектрические, термобиметаллические и т.д. Существует много типов приборов для измерения прямой и рассеянной радиации солнечного излучения, земной поверхности и атмосферы: **пиргелиометры, актинометры, пиранометры, альбедометры, балансомеры** 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.

Общий принцип работы термоэлектрических приборов: лучистая энергия, поглощенная чувствительным элементом, преобразуется в тепловую с последующим преобразованием термопарой в электрическую. Э.д.с. измеряется гальванометром.

Все эти приборы являются относительными, их тарирование (калибровка) производится по показаниям компенсационного пиргелиометра Онгстрема, принятого в РФ в качестве эталонного.

Актинометр АТ-50 предназначен для измерения прямой солнечной радиации на перпендикулярную лучам поверхность (рис. II.1). В колпаке трубки находится приемник радиации, выполненный в виде диска диаметром 11 мм из серебристой фольги, зачер-

ненной с подсолнечной стороны. К диску с обратной стороны приклеены активные слои термобатарей. Под воздействием поглощенной солнечной радиации температура зачерненного диска и активных спаев термопары повышается по сравнению с температурой пассивных спаев, укрепленных на корпусе (имеющих температуру наружного воздуха). Возникающая термо-э.д.с. пропорциональна разности температур активного и пассивного спаев и измеряется гальванометром.

Поле зрения актинометра АТ-50 составляет 10° при диаметре диска Солнца $0,5^\circ$. Чувствительность составляет 8-11 мВ на 1 кВт/м^2 , инерция 25 с, область рабочих температур $-60 - +60^\circ\text{C}$.

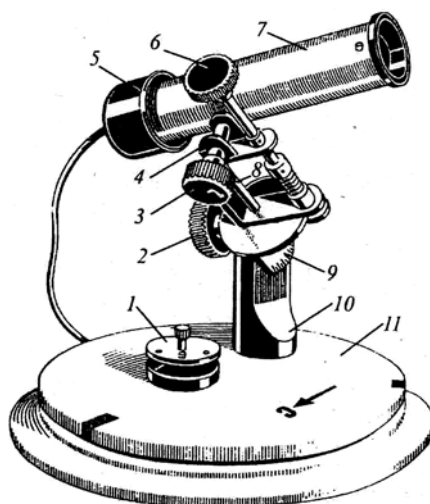


Рис. П.1. Актинометр термоэлектрический АТ-50:

1 – крышка, 2, 3 – винты, 4 – ось склонений, 5 – экран, 6 – кремальера, 7 – трубка, 8 – ось мира, 9 – сектор широт, 10 – стойка, 11 – основание

Пиранометр универсальный М-80 предназначен для измерения интенсивности суммарной рассеянной и отраженной коротковолновой радиации (рис. П.2). Основной частью прибора является пиранометрическая головка, в которой находится приемник радиации в виде пластинки с черными и белыми полями наподобие шахматной доски. С обратной стороны пластины к черным и белым полям приклеены спаи термобатарей. Термоэлектрический приемник закрыт стеклянным колпаком, защищающим прибор от внешних воздействий и пропускающим радиацию в диапазоне $0,33 - 3,0 \text{ мкм}$. Термо-э.д.с. между черными и белыми полями измеряется гальванометром.

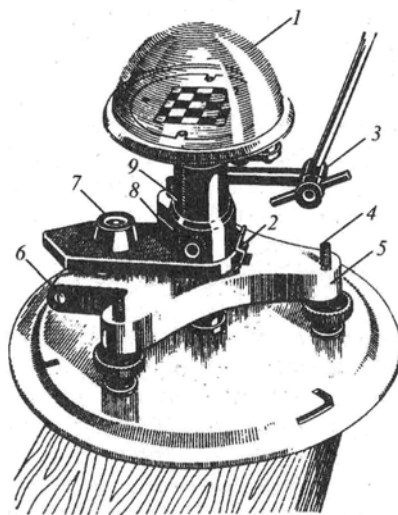


Рис. П.2. Пиранометр универсальный термоэлектрический М-80М:
 1 – пиранометрическая головка, 2 – стопорная пружина, 3 – шарнирное крепление затенителя, 4 – подъемный винт, 5 – подставка, 6 – шарнир откидной части, 7 – уровень, 8 – винт, 9 – стойка

Для измерения рассеянной радиации солнечный диск закрывается диском на стойке 3. Диск закрывает зону диаметром 10° вокруг Солнца.

Суммарная радиация измеряется при незатененном приемнике.

Для измерения радиации, рассеянной подстилающей поверхностью, головка пиранометра поворачивается вниз.

Чувствительность пиранометра составляет 10-16 мВ на 1 кВт/м^2 , инерция 40 с, рабочая температура $-60 - +60^\circ\text{C}$.

Для измерений в полевых условиях разработан аналог пиранометра – альбедомер походный, работающий на такой же принципиальной основе.

Балансомер М-10М основан на одновременном измерении длинноволновой радиации от подстилающей поверхности и коротковолновой – от Солнца (рис. П.3).

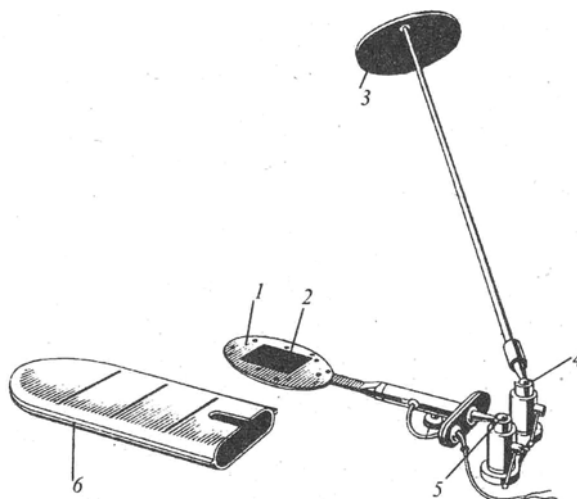


Рис. П.3. Балансомер термоэлектрический М-10М:
 1 – пластина, 2 – верхний приемник излучения, 3 – затенитель, 4 – крепление затенителя, 5 – крепление балансомера, 6 – чехол

Приемник, обращенный вниз, регистрирует длинноволновую радиацию подстилающей поверхности и окружающих предметов, верхний – коротковолновую радиацию Солнца вместе с длинноволновым излучением атмосферы. Термобатареи верхнего и нижнего приемников создают встречные э.д.с. Если энергия, поступающая сверху равна энергии, регистрируемой снизу, то стрелка гальванометра не отклоняется. На основе этого составляется уравнение радиационного баланса и вычисляются соответствующие потоки излучения.

Чувствительность балансомера 5-6 мВ на 1 кВт/м², инерция 12 с, температурный диапазон -60 - +60°С.

Гелиограф универсальный ГУ-1 (рис. П.4) предназначен для регистрации продолжительности видимости Солнца, то есть времени, в течение которого диск Солнца не закрыт облаками, а интенсивность солнечной радиации составляет не менее 0,21 кВт/м².

Принцип действия основан на прожигании бумажной ленты солнечными лучами, сфокусированными стеклянным шаром как собирательной линзой.

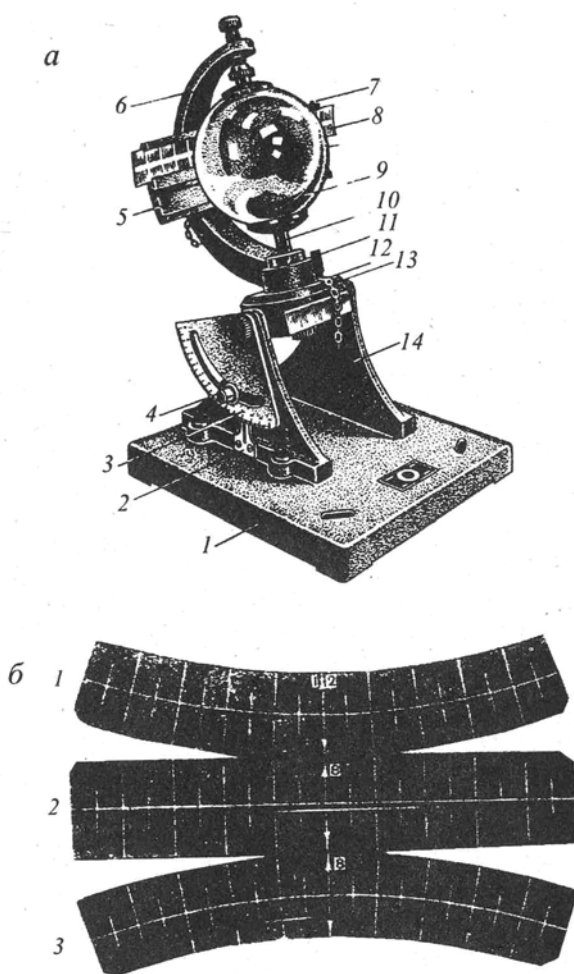


Рис. П.4. Гелиограф универсальный:

а): 1 – основание, 2 – указатель широты, 3 – сектор широт, 4 – винт, 5 – чашка с пазами для лент, 6 – дуга, 7 – игла фиксирования ленты, 8 – лента, 9 – шар, 10 – ось, 11 – фиксирующий штифт, 12 – диск установочный, 13 – указатель, 14 – стойка; б) ленты с прожогами: 1 – зимняя, 2 – равноденственная, 3 – летняя

Для проведения наблюдений актинометрические приборы устанавливаются на актинометрической стойке (рис. П.5).

Одновременно с ними проводятся вспомогательные наблюдения: оценивается количество и форма облаков, цвет неба в зените, степень покрытия солнечного диска облаками, атмосферное давление, скорость ветра вблизи балансомера, температура и влажность воздуха, температура почвы, состояние травы, снежного покрова.

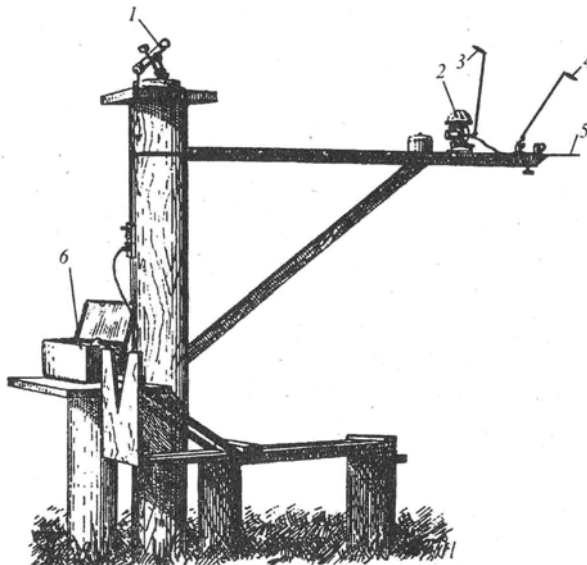


Рис. П.5. Актинометрическая стойка

Приложение III

Измерение шума

(Московский энергетический институт (ТУ). Кафедра инженерной экологии и охраны труда)

Все методы измерения шумов делятся на стандартные и нестандартные.

Стандартные измерения регламентируются соответствующими стандартами и обеспечиваются стандартизованными средствами измерения. Величины, подлежащие измерению, так же стандартизованы.

Нестандартные методы применяются при научных исследованиях и при решении специальных задач.

Измерительные стенды, установки, приборы и звукоизмерительные камеры подлежат метрологической аттестации в соответствующих службах с выдачей аттестационных документов, в которых указываются основные метрологические параметры, предельные значения измеряемых величин и погрешности измерения.

Стандартными величинами, подлежащими измерению, для постоянных шумов являются:

- уровень звукового давления L_p , дБ, в октавных или третьоктавных полосах частот в контрольных точках;

- скорректированный по шкале A уровень звука L_A , дБА, в контрольных точках.

Для непостоянных шумов измеряются эквивалентные уровни $L_{pэк}$ или $L_{Aэк}$.

Стандартные шумовые характеристики источников шума L_W , L_{WA} , $G_{\max}(\varphi)$, $G_{\max A}(\varphi)$ определяются с использованием соответствующих зависимостей по измеренным уровням звукового давления.

Шумоизмерительные приборы - шумомеры - состоят, как правило, из датчика (микрофона), усилителя, частотных фильтров (анализатора частоты), регистрирующего прибора (самописца или магнитофона) и индикатора, показывающего уровень измеряемой величины в дБ. Шумомеры снабжены блоками частотной коррекции с переключателями A , B , C , D и временных характеристик с переключателями F (*fast*) - быстро, S (*slow*) - медленно, I (*pick*) - импульс. Шкалу F применяют при измерениях постоянных шумов, S - колеблющихся и прерывистых, I - импульсных.

По точности шумомеры делятся на четыре класса 0, 1, 2 и 3. Шумомеры класса 0 используются как образцовые средства измерения; приборы класса 1 - для лабораторных и натуральных измерений; 2 - для технических измерений; 3 - для ориентировочных измерений. Каждому классу приборов соответствует диапазон измерений по частотам: шумомеры классов 0 и 1 рассчитаны на диапазон частот от 20 Гц до 18 кГц, класса 2 - от 20 Гц до 8 кГц, класса 3 - от 31,5 Гц до 8 кГц.

Для измерения эквивалентного уровня шума при усреднении за длительный период времени применяются интегрирующие шумомеры.

Приборы для измерения шума строятся на основе частотных анализаторов, состоящих из набора **полосовых фильтров** и приборов, показывающих уровень звукового давления в определенной полосе частот.

В зависимости от вида частотных характеристик фильтров анализаторы подразделяются на октавные, третьооктавные и узкополосные.

Частотная характеристика фильтра $K(f) = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$ представляет собой зависимость коэффициента передачи сигнала со входа фильтра $U_{\text{вх}}$ на его выход $U_{\text{вых}}$ от частоты сигнала f .

Частотная характеристика типового *октавного полосового фильтра* показана на рис. III.1 Полосовой фильтр характеризуется полосой пропускания $B = f_2 - f_1$, т.е. областью частот между двумя частотами f_1 и f_2 , на которых частотная характеристика $K(f)$ имеет значение (затухание) не более 3 дБ.

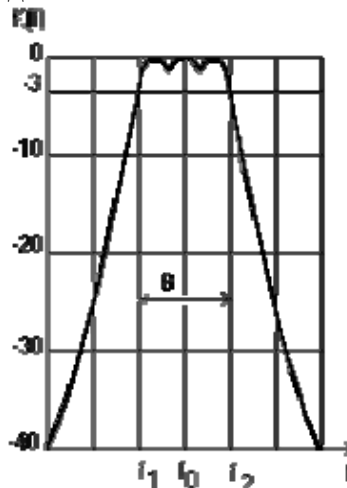


Рис. III.1. Частотная характеристика октавного фильтра:
 f_1 и f_2 - частоты среза фильтра, $f_0 = (f_1 * f_2)^{1/2}$ - центральная частота фильтра

Для измерения производственных шумов преимущественно используется прибор ВШВ-003-М2, относящийся к шумомерам I класса точности и позволяющий измерять скорректированный уровень звука по шкалам A , B , C ; уровень звукового давления в диапазоне частот от 20 Гц до 18 кГц и октавных полосах в диапазоне среднегеометрических частот от 16 до 8 кГц в свободном и диффузном звуковых полях. Прибор предназначен

для измерения шума в производственных помещениях и жилых кварталах в целях охраны здоровья; при разработке и контроле качества изделий; при исследованиях и испытаниях машин и механизмов.

Таблица III.1

Современные шумомеры и виброметры

Типовые комплекты	ИИБ*	Дозиметр	Звук	Инфра-звук	Ультразвук	Общ. вибр. 1 кан.	Лок. вибр. 1 кан.	Общ.вибр. 3 кан.	Лок.вибр. 3 кан.
110A-Dose	110A	+							
110A-Basic	110A		+						
110A-LF	110A		+	+					
110A-AB-1	110A		+	+		+	+		
110A-AB-3	110A		+	+		+	+		
110A-Ультра	110A		+		+				
110A-Ультра-Плюс	110A		+	+	+				
110A-МАКСИМА	110A	+	+	+	+	+	+		
101BM	101BM							+	+
101BM-ОПТИМА	101BM							+	+

*ИИБ - измерительно-индикаторный блок

110A



101BM



Рис. III.2. Шумомер 110A и виброметр 101BM

Принадлежности к шумо- и виброметрам

Типовые комплекты	Предусилитель	Микрофон 1/2"	Микрофон 1/4"	Вибродатчик, 1к.	Вибродатчик, 3к.	002ОТ 001ОТ	003ОП	002КР 001КР	Report+
110A-Dose	+	+							заказ
110A-Basic	+	+							заказ
110A-LF	+	+							заказ
110A-AB-1	+	+		+		заказ	заказ	заказ	заказ
110A-AB-3	+	+			+	заказ	заказ	заказ	заказ
110A-Ультра	+		+						заказ
110A-Ультра-Плюс	+	+	+						заказ
110A-МАКСИМА	+	+	+	+	заказ	заказ	заказ	заказ	заказ
101ВМ				заказ	+	заказ	заказ	заказ	заказ
101ВМ-ОПТИМА				заказ	+	+	+	+	+

Октава-101ВМ. Трехканальный виброметр общей и локальной вибрации

Виброметр Октава-101ВМ предназначен для оценки влияния общей и локальной вибрации на человека в условиях производства, в транспорте, в жилых и общественных зданиях. Прибор может также использоваться для исследования вибраций строительных конструкций и определения вибрационных характеристик машин и оборудования.

Особенности виброметра Октава-101ВМ

- **Трехканальность:** одновременное измерение вибрации в трех направлениях или в трех точках
- **Принцип одновременности измерений:** все параметры измеряются и сохраняются в памяти одновременно;
- **Большой динамический диапазон: 120 дБ.**
- **Графический индикатор:** обеспечивает несколько вариантов представления измеряемых данных - от таблицы до графика; одновременный контроль показаний по трем направлениям вибрации; малоэнергоёмкая подсветка и подстройка контрастности позволяют использовать прибор в условиях плохой и, наоборот, избыточной освещенности;
- **Датчик со встроенным усилителем (IEPE/ICP):** уменьшение уровня собственных шумов, устранение кабельного эффекта, чувствительность не зависит от длины и типа кабеля
- **Удачная эргономика:** в полевых условиях можно одной и той же рукой держать прибор и управлять им. Металлический корпус предохраняет прибор от механических воздействий и обеспечивает долгий срок службы электроники
- **Мультиязычность:** реализован выбор языка меню прибора
- **Обмен файлами данных с компьютером:** просто соедините прибор с USB портом вашего компьютера типовым USB-кабелем. Компьютер сам обнаружит новое устройство памяти, как если бы к нему был подключен обычный диск.

Телеметрия: в виброметре имеется дополнительный цифровой порт для передачи данных или оцифрованных сигналов в компьютер в режиме реального времени. Дополнительное программное обеспечение (110_RTA, 110_DM, SIGNAL+) превращает связку прибор-компьютер в мощную измерительную систему

Таблица III.3

Технические характеристики виброметра Октава-101ВМ

Удовлетворяемые стандарты	ГОСТ 12.4.012, ГОСТ 12.1.012, ИСО 8041
Диапазон измерений	единый диапазон 63 – 183 дБ отн. 1 мкм/с/2 с датчиком 100 мВ/г (0,0014 - 1400 м/с ²)
Режимы измерения:	Общая вибрация, Локальная вибрация
Частотные коррекции	Wd, Wk Wb, Wc, We, Wj, Wm, Fk (Лин 0,4 – 100 Гц), Fm (Лин 0,8 – 100 Гц) - Общая вибрация Wh, Fh (Лин 6,3 – 1286 Гц) – Локальная вибрация
Измеряемые параметры:	Текущие среднеквадратичные уровни виброускорения со временами усреднения 1с, 5с, 10с, Эквивалентные уровни виброускорения, Максимальные и минимальные текущие СКЗ за время замера, Пиковые уровни виброускорения (только для широкополосных значений)
Октавные и третьоктавные фильтры	«Общая вибрация»: октавные фильтры 1,0 – 125 Гц 1/3-октавные фильтры: 0,8 Гц – 160 Гц «Локальная вибрация»: окт.фильтры 8 – 1000 Гц 1/3-октавные фильтры: 6,3 Гц – 1250 Гц
Выходы	а) USB, б) цифровой выход телеметрии (115,2 кбит/с, >1 Мбит/с)
Память	энергонезависимая, >16 Мбайт
Питание	аккумуляторная батарея (4 x LR6), не менее 8 часов непрерывной работы); от сети 220 В через блок питания (опция). В стандартный комплект поставки входят два комплекта аккумуляторов и внешнее зарядное устройство
Масса	550 г

Система регистрации и анализа сигналов SQ-1.

SQ-1 – это программно-аппаратный комплекс, состоящий из миникомпьютера *Samsung Q1* (рис. III.3) и пакета программ *Signal+*, резко расширяющий функциональность приборов серии Октава, сохранив все преимущества последних.



Рис. III.3. Миникомпьютер *Samsung Q1*

***SQ-1* позволяет:**

- дистанционно управлять несколькими приборами Октава-110, 101АМ и 101ВМ. То есть запускать и останавливать измерения, передавать результаты в миникомпьютер в режиме реального времени и выводить их в удобном виде на большом цветном дисплее.
- осуществлять запись оцифрованных сигналов (во временной области). В этом случае вы можете проводить измерения шума или вибрации прибором серии Октава и одновременно записывать в компьютер Q1 временную реализацию изучаемого процесса
- проводить постобработку записанных сигналов: частотный анализ на основе БПФ, наложение дополнительных фильтров, дифференцирование и интегрирование, взаимно-корреляционный анализ (при работе с 3-канальным прибором Октава-101ВМ), построение кривых затухания и расчет времени реверберации RT60 и т.д.

А) Регистрация данных и временных реализаций

С давних времен существовал водораздел между анализаторами и регистраторами. Первые (шумомеры, виброметры, анализаторы спектра) осуществляли обработку и анализ сигналов, вторые (в основном, измерительные магнитофоны) записывали сам сигнал.

Последнее десятилетие мы видим неуклонное вымирание магнитофонов. Сегодня практически все портативные приборы относятся к классу анализаторов (в широком смысле). Однако потребность в записи сигналов сохраняется. Эта потребность закрывалась двумя способами: купить плату АЦП и воспользоваться какой-то замороженной программой (забудьте о метрологии!), либо приобрести очень дорогую западную систему за несколько десятков тысяч евро.

SQ-1 - это новое промежуточное решение - законченный прибор, который можно использовать и как анализатор, и как осциллограф, и как магнитофон!

Б) Простота обращения

Анализ современных измерительных систем показал, что из всего набора их богатых возможностей только примерно 20-30% используется регулярно. Оставшиеся 70-80% тоже нужны, но гораздо реже. Однако их интегрирование в прибор ведет к чрезмерному усложнению и удорожанию.

Приборы серии Октава пользуются большой популярностью благодаря простоте обращения, широкому набору измерительных возможностей и надежности. Они идеально подходят для полевых измерений. Это стало возможным из-за того, что мы оставили в них те самые наиболее востребованные функции. Дополнительные исследовательские функции

вы найдете в SQ-1. При этом SQ-1 сам по себе обладает прекрасной эргономикой и удивительно подходит как для полевых, так и для лабораторных измерений. Обладая всеми возможностями полноценного компьютера, он в несколько раз меньше ноутбука!

В) Метрология

Приборы серии Октава сертифицированы. Они соответствуют российским и международным стандартам и имеют утвержденные методики поверки.

В задачах, связанных с контрольными, сертификационными и надзорными измерениями, приборы серии ОКТАВА выступают в качестве основных измерителей, а SQ-1 – в качестве индикатора и устройства дистанционного управления и накопления данных. Дополнительные возможности SQ-1 по постобработке сигналов находят применения в исследовательских приложениях, где требования обязательной сертификации, как правило, отсутствуют.

Пакет программ СИГНАЛ+(Рис. III.4)

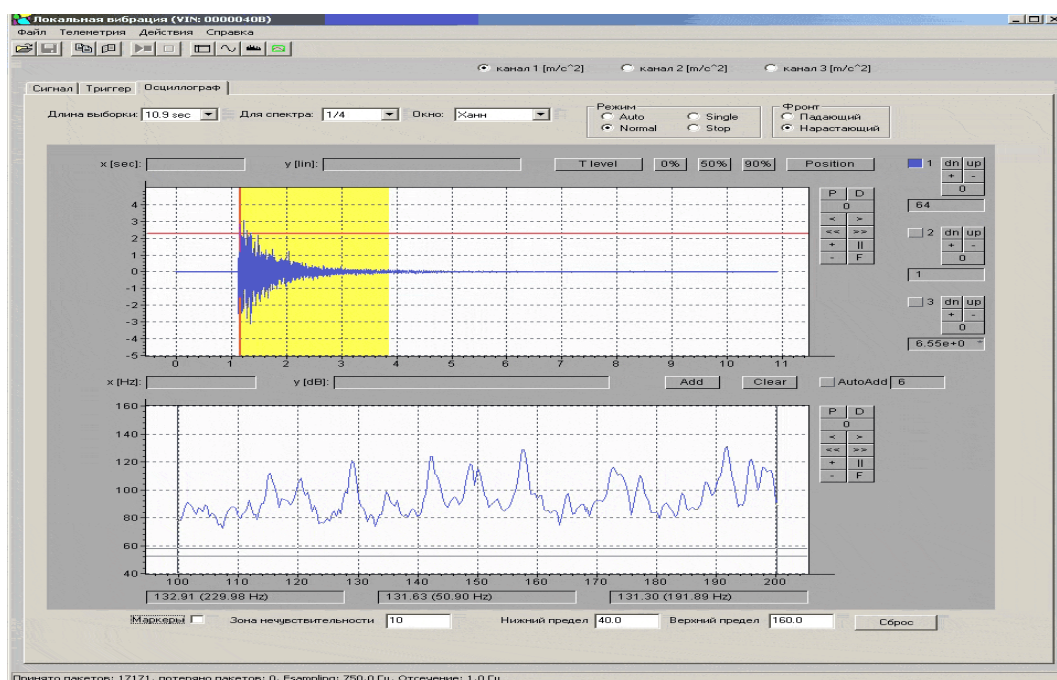


Рис. III.4. Интерфейс программ СИГНАЛ

Пакет программ СИГНАЛ+ позволяет:

- Дистанционно управлять приборами, выводить на экран и записывать в память блока SQ-1 или компьютера результаты измерений из приборов Октава-101А, 110А, 101ВМ, 110В в реальном времени
- Обрабатывать файлы с результатами измерений, полученными приборами Октава-101А, 110А, 101ВМ, 110В
- Передавать и записывать в блок SQ-1 или иной компьютер оцифрованные временные реализации.
- Проводить передаваемых временных реализаций в квазиреальном времени или постобработку записанных временных реализаций (дифференцирование, интегрирование, БПФ, кривые спада, время реверберации, взаимные спектры, передаточные функции и пр.)

Приложение IV.

Применение приборов радиационной разведки, контроля радиоактивного заражения и облучения

Радиационная разведка организуется и осуществляется на основе данных прогноза о районах возможного радиоактивного загрязнения и сложившейся радиационной обстановки. Специфика радиационной разведки определяется особенностями формирования радиационной обстановки. Данные разведки используются для оценки возможного уровня внешнего и внутреннего облучения персонала объекта и населения, для установления необходимости эвакуации (отселения) населения, установления режимов работы людей, привлекаемых для локализации и ликвидации последствий аварии.

Радиационная разведка включает: обследование (контроль) территории (акватории, воздушного пространства), зданий, сооружений, техники в целях подтверждения факта их радиоактивного загрязнения; определение движения загрязненного облака, мощности дозы и плотности радиоактивного загрязнения, обозначения радиационно опасных районов (участков) местности, отдельных объектов и маршрутов.

Радиационная разведка ведется на воздушных и наземных транспортных средствах, а в некоторых случаях – пешим порядком.

Воздушные средства радиационной разведки, оснащенные бортовой аппаратурой аэрогаммасъемки, используются для оперативного выявления характера и масштабов радиационной обстановки.

Воздушная радиационная разведка, в зависимости от поставленных задач, может осуществляться специально подготовленными авиационными экипажами на специально оборудованных самолетах и вертолетах.

Для наземной радиационной разведки применяются штатные машины радиационной и химической разведки УАЗ-469рх, БРДМ-2рх, РХМ, РСМ41-02, а в условиях высоких уровней радиоактивного загрязнения – специально оборудованные инженерные машины разграждения (ИМР), машины «Комплект-1», «Комплект-2».

Наземная радиационная разведка района (участка) местности в зависимости от его площади и времени, установленного на разведку, ведется подразделением разведки в полном составе или по отделениям. Основным способом ведения разведки при этом могут быть способы параллельного галсирования или «гребенка».

В зависимости от задач, поставленных перед подразделением (формированием) наземной радиационной разведки, выявление радиационной обстановки на автомобилях (бронетранспортерах) осуществляется проведением измерений мощностей доз на маршрутах движения (разведки), а также определением характера и степени загрязнения территории с помощью гамма-спектрометра.

Измеренные через равные (фиксированные) расстояния на местности показатели мощности дозы отображаются на картах (план-схемах) с указанием точек и времени замеров. При наличии на маршруте движения характерных ориентиров мощность дозы (степень загрязнения) измеряется вблизи таких ориентиров, которые также отображаются на карте. Результаты обследования радиационной обстановки фиксируются в журнале.

При достижении заданных (граничных) значений мощности дозы (степени загрязнения) делается короткая остановка для обозначения этой точки знаком (указателем) ограждения и отбора проб почвы с заполнением паспорта на пробу. При измерении мощности дозы непосредственно с машины необходимо учитывать коэффициент ослабления излучений транспортным средством, а также возможность вторичного радиоактивного загрязнения машины до такой степени, при которой оно будет оказывать влияние на показания радиометрической аппаратуры.

Для осуществления радиационного обследования местности в особых условиях (ночью, зимой, при высоких уровнях радиоактивного загрязнения и т.д.) требуется та-

бельное оснащение разведформирований необходимыми техническими средствами (приборы ночного видения, средства ориентирования и др.).

Необходимо учитывать, что снегопады и дожди способствуют более быстрому оседанию радиоактивных веществ, перемещению их на большие расстояния, накоплению в кустарниках, оврагах, ложбинах, ямах, что приводит к более высоким степеням загрязнения отдельных участков местности (локальные радиоактивные пятна).

Группы (расчеты, звенья) пешей наземной радиационной разведки выполняют задачи по оценке степени загрязнения труднопроходимых мест, районов и населенных пунктов, где невозможно проведение радиационной разведки на автомобилях. Обследование загрязненной территории проводится методом непрерывного замера мощности дозы. Через каждые 100-300 м проводятся замеры мощности дозы и плотности загрязнения двумя приборами с нанесением на карту (план-схему) номер точки и времени замера. Маршрут движения расчета (звена) пешей разведки определяется заблаговременно по данным прогноза и уточняется на основании первичных данных о радиационной обстановке, полученных после проведения воздушной разведки.

При проведении обследования населенного пункта производится обязательное измерение мощности дозы у входов в общественные здания, жилые помещения, школы, детские дошкольные учреждения, клубы, магазины и другие места возможного скопления людей. При необходимости проводится обследование во дворах частных домов. В ходе разведки уточняется схема обследования населенного пункта и на нее наносятся дополнительные ориентиры, позволяющие в дальнейшем точно установить места проведения измерений и пробоотбора.

Приусадебные участки и территории, прилегающие к школам, детским дошкольным учреждениям и т.д., обследуются по диагонали с проведением замеров не менее чем в трех характерных точках с одновременным отбором проб.

В случае обнаружения локальных очагов (участков с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, начиная с указанной (граничной) мощности дозы (степени загрязнения), проводится их оконтуривание путем замера мощности дозы по двум взаимно перпендикулярным направлениям, проходящим через центр участка. Замеры производятся через каждые 5-10 м до установления величин мощности дозы менее установленных.

Окончательные результаты обследования загрязненной местности с указанием значений мощности дозы, времени и мест замеров и отбора проб вместе с картами (план-схемами) направляются в органы управления и заинтересованные организации для принятия соответствующих решений.

Радиационная разведка в очаге аварии организуется на основе данных прогнозирования возможной радиационной обстановки.

Руководство разведкой в очаге аварии осуществляется с командного пункта руководителя работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

Разведка очага аварии, как правило, организуется с разных направлений, на каждом из которых определяются рубежи ввода разведывательных групп (дозоров) в очаг аварии. На рубежах ввода выставляются контрольные пункты. Старшие контрольных пунктов (командиры, начальники подразделений, формирований) организуют ввод разведывательных групп в очаг аварии с данного направления, обеспечение безопасности их действий, обобщают и докладывают результаты руководителю разведки в очаге аварии.

Необходимое количество разведывательных групп (дозоров) на каждом направлении определяется с учетом обстановки и объема задач. В целях обеспечения безопасности личного состава при ведении разведки в составе разведывательных групп (дозоров) должно быть не менее двух человек.

С личным составом разведывательных групп (дозоров), действующим в очаге аварии, организуется и поддерживается постоянная радио-, проводная или сигнальная связь (ракетами и т.п.).

Результаты разведки в очаге аварии обобщаются и докладываются руководителю работ по ликвидации радиационной аварии и ее последствий.

Разведывательные дозоры от подразделений разведки частей ликвидации последствий аварии, выделяемые на корабли, суда и катера, используются для ведения морской радиационной разведки. Основными задачами морской разведки являются: обнаружение радиоактивного загрязнения, измерение мощностей доз, установление и обозначение границ зон (районов, участков) радиоактивного загрязнения на островах и побережье; обнаружение и измерение радиоактивного загрязнения на судах и других плавсредствах, стоящих на рейдах; взятие проб морской воды, грунта, планктона и т.д.

Радиационный контроль – контроль за соблюдением норм радиационной безопасности и основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и иными источниками ионизирующего излучения, а также получение информации об уровнях облучения людей и о радиационной обстановке на объекте и в окружающей среде.

Выделяют дозиметрический и радиометрический контроль.

Дозиметрический контроль – комплекс организационных и технических мероприятий по определению доз облучения людей с целью количественной оценки эффекта воздействия на них ионизирующих излучений.

Радиометрический контроль – комплекс организационных и технических мероприятий по определению интенсивности ионизирующего излучения радиоактивных веществ, содержащихся в окружающей среде или степени радиоактивного загрязнения людей, техники, сельскохозяйственные животных и растений, а также элементов окружающей природной среды,

Дозиметрический контроль ведется групповым и индивидуальным способами, для населения допускается производить расчетным путем по уровням излучения и времени работы. По данным контроля определяются режим работы формирований и необходимость направления на обследование в медицинские учреждения.

Групповой контроль организуется командиром (начальником) с целью получения данных о средних дозах облучения личного состава для определения возможности дальнейшей работы. Для этого формирования обеспечиваются измерителями дозы (дозиметрами) из расчета 1-2 дозиметра на группу людей 14-20 человек, действующих в одинаковых условиях обстановки.

Индивидуальный контроль проводится с целью получения данных о дозах облучения каждого человека, которые необходимы для первичной диагностики степени тяжести лучевого поражения. Личному составу формирований в этих целях выдаются индивидуальные измерители мощности дозы (дозиметры).

Контроль облучения личного состава, находящегося на загрязненной радиоактивными веществами местности, проводится непрерывно. Суммарную дозу записывают в индивидуальную карточку учета доз облучения.

Командиры (начальники) подразделений сведения о дозах облучения в письменном виде представляют по подчиненности.

Радиометрический контроль (контроль радиоактивного загрязнения) осуществляется с целью определить необходимость специальной обработки техники, используемой при ликвидации последствий радиационных аварий; санитарной обработки личного состава и населения после выхода из зон радиоактивного загрязнения; дезактивации зданий, сооружений, дорог, местности, одежды, материальных средств; обеззараживания продовольствия и воды.

Контроль радиоактивного загрязнения зданий, сооружений, оборудования и местности до и после дезактивации осуществляется непосредственно в зонах загрязнения с помощью табельных приборов или путем взятия проб грунта, мазков со зданий, сооружений, оборудования и обработки их в лабораториях.

Контроль радиоактивного загрязнения воды и продовольствия производится путем взятия проб и обработки их в лабораториях.

Для проведения контроля радиоактивного загрязнения привлекаются группы (звенья) общей и специальной разведки, входящие в состав аварийно-спасательных формирований.

Звенья радиометрического контроля проводят работы на пунктах специальной обработки (ПуСО), санитарно-обмывочных пунктах (СОП), станциях обеззараживания одежды (СОО).

Личный состав, техника и транспорт формирований, подвергшихся радиоактивному загрязнению и прибывших для проведения полной специальной обработки на ПуСО, проходят через контрольно-распределительный пункт (КРП), который определяет степень загрязнения формирований после действий на загрязненной местности. КРП организуется за счет дозиметристов разведывательных аварийно-спасательных формирований. При этом измеряется степень загрязненности людей и объектов, прибывших на пост, и определяется необходимый способ специальной обработки.

По мере пропуска личного состава и техники периодически проверяется загрязненность рабочего места дозиметриста, при необходимости проводится его дезактивация или перемещение в другое место.

Контроль радиоактивного загрязнения осуществляется двумя постами, один из которых располагается на входе, а другой на выходе площадки ПуСО.

Характеристики основных приборов радиационной разведки, радиометрического и дозиметрического контроля приведены ниже.

Аппаратура и приборы радиационной разведки, радиометрического и дозиметрического контроля

Таблица 1

Средства гамма-поиска							
Тип	Наименование	Назначение	Предел измерения	Диапазон измерения энергий	Погрешность измерений	Температурный режим, °С	Масса, кг
Радиометр СРП-88Н	Сцинтилляционный радиометр поисковый	Наземный поиск источников ИИИ и ведение радиационной разведки	10-3х10 ⁴ 1/с 0-3000 мкР/ч	Уровень дискриминации 25±10 кэВ	±2,5 %	Плюс 50 – минус 20	2,2
Индикатор НГП-81	Аппаратура наземного гамма-поиска	Обнаружение радиоактивных остатков аварийных летательных аппаратов с ядерными установками на борту	Вероятность обнаружения точечных гамма-источников активностью 100 мКи при ширине полосы поиска до 400 м равна 0,9	600-2500 кэВ	Угол направления на источник ±5 град.	Плюс 50 – минус 50	Не более 80
Индикатор АГП-81	Аппаратура аэрогамма-поиска	Обнаружение с борта летательного аппарата радиоактивных обломков конструкций разрушенных ЯЭУ	При высоте полета 50-200 м и скорости 400 км/ч ширина полосы обнаружения составляет 500 м. Вероятность обнаружения точечного гамма-источника активностью 600 мКи равно 0,95	Более 600 кэВ	–	Плюс 55 – минус 40	–

Таблица 2

Тип	Наименование	Назначение	Измерители дозы			Температурный режим, °С	Масса, кг
			Предел измерения	Диапазон измерения энергий	Погрешность измерений		
Дозиметр КДТ-02	Комплект дозиметров термолуминесцентных	Измерение экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений	ДПГ-02 1-1000Р ДПГ-03 0,005-1000 Р ДПС-11 1-1000 Р	0,06-1,25 МэВ	±10 %	Плюс 10 – минус 35	34
ДП-22В	Измерение индивидуальных доз гамма-излучения	2-50 Р при мощности дозы от 0,5 до 200 Р/ч	От 200 кэВ до 2 МэВ		±10 %	Плюс 50 – минус 40	5
Комплект дозиметров	Комплект индивидуальных дозиметров	Измерение индивидуальных доз гамма-излучения	Д-2 от 0,005 до 2 Р Д-500 от 2 до 500 Р Сохраняют зарегистрированное значение дозы от 24 до 48 ч	От 300 кэВ до 1,25 МэВ	±10-20 %	0 – плюс 50	16-35

Таблица 3

Средства измерений мощности дозы ионизирующих излучений и уровней радиоактивных загрязнений

Тип	Наименование	Назначение	Предел измерения	Диапазон измерения энергий	Погрешность измерений	Температурный режим, °С	Масса, кг
Радиометр дозиметр МКС-01Р		Измерение плотности потока и флюенса альфа- и бета-частиц, испускаемых с поверхности эквивалентной дозы и МЭД рентгеновского и гамма-излучений	Плотность потока альфа-излучения – 1-3.10 4 см -2 мин. -1 Флюенс 10-10 5 -2см Плотность потока бета-излучения – 1-10 5 см -2 мин. -1 Флюенс 10-10 5 см 2 ; МЭД рентгеновского и гамма-излучения 0 10 -2 -10 4 мкЗв/ч; Эквивалентная доза – 0,1-10 5 мкЗв/ч;	альфа-излучение 4-6 МэВ бета-излучение 0,3-3 МэВ Гамма-излучение 0,04-10 МэВ	±20 % ±20 % ±20-±31 %	Плюс 40 – минус 10	5,5
		плотности потока и флюенса тепловых, промежуточных и быстрых нейтронов эквивалентной	Плотность потока – 1-3.10 4 см -1 .с -1 Флюенс – 10 2 -10 5 см -2 Эквивалентная доза, мкЗв – 1-10 5 см -2	нейтронное излучение тепловые – 0,025 эВ; промежуточные – 1-10 10 -3 -14 МэВ	±20 %		

		дозы и МЭД нейтронного излучения	МЭД, мкЗв/ч – 1-10 4					
Измеритель мощности дозы ДП-5В	Радиометр-рентгенометр	Измерение мощности дозы гамма-излучения и степени радиоактивного загрязнения различных предметов по гамма-излучению	0,05 мР/ч – 200 Р/ч	0,084-1,25 МэВ	±30 %	Плюс 50 – минус 40	3,2	
ИМД-12	Измеритель мощности дозы	Измерение мощности дозы ионизирующих излучений	1-10000 Р/ч световая сигнализация появляется при мощностях доз 1; 5; 10; 50; 100 Р/ч	0,08-2,6 МэВ	±25 %	Плюс 50 – минус 50	7	
ИМД-31	Измеритель мощности дозы	Измерение мощности дозы гамма-излучения радиоактивно загрязненной местности при ведении воздушной радиационной разведки	3-3000 Р/ч на высоте 1 м 25.10 -3 -1000 Р/ч на стандартной высоте полета	0,08-3 МэВ	±25%	Плюс 50 – минус 50	45	
Дозиметр КДГ-1	Измеритель мощности экспозиционной дозы гамма-излучения	Измерение МЭД гамма-излучения и индикация бета-излучения	0,1 мР/ч – 1000 Р/ч		±35 %	Плюс 50 – минус 40	2,8	
ИМД-1Р	Измеритель мощности дозы	Ведение радиационной разведки местности и определение уровней загрязнения людей, продовольствия, воды, фуража, поверхностей техники радиоактивными веществами по гамма-излучению и обнаружение бета-излучения	0,01 мР/ч – 999 Р/ч		±25%	Плюс 50 – минус 50	0,8	
ДБГ-06Т	Измеритель мощности дозы	Носимый дозиметр мощности эквивалентной дозы окружающей среды и МЭД фотонного излучения	В режиме «Измерение»: мощность эквивалентной дозы от 0,10 до 99,99 мкЗв/ч или МЭД от 0,010 до 9,999 мР/ч. В режиме «Поиск»: мощность эк-	0,05-3 МэВ	±25 %	Плюс 40 – минус 10	0,6	

КДН-2	Измеритель мощности эквивалентной дозы нейтронного излучения	вivalentной дозы от 1,0 до 999,9 мкЗв/ч или МЭД от 0,10 до 99,99.	Измерение мощности эквивалентной дозы нейтронного излучения	0,05-5000 мкбэр/с	±38	Плюс 50 – минус 40	2,8

Таблица 4

Средства измерения поверхностной активности

Тип	Наименование	Назначение	Предел измерения	Диапазон измерения энергий	Погрешность измерений	Температурный режим, °С	Масса, кг
Радиометр КРБ-1	Корабель-ный радио-метр бета-загрязненности поверхности	Контроль степени загрязненности поверхностей бета-активными нуклидами	От 10 до 10 ⁷ расп/(мин.см ²)		±30 % при гамма-фоне до 1 Р/ч	Плюс 50 – минус 40	2,7
КРА-1	Корабель-ный радио-метр альфа-загрязненности поверхности	Контроль степени загрязненности поверхностей альфа-активными нуклидами	От 1 до 10 ⁴ расп/(мин.см ²)		±20 % при гамма-фоне до 1 Р/ч	Плюс 50 – минус 40	3,1
КРАБ-3	Корабель-ный радио-метр альфа-, бета-загрязненности поверхности	Контроль степени загрязненности поверхностей альфа- и бета-активными нуклидами	Альфа-излучение - от 1 до 1000 расп/(мин.см ²); Бета-излучение - от 10 до 10000 расп/(мин. см ²).	Более 4,15 МэВ От 0,1 до 1,5 МэВ	±30%	Плюс 40 – минус 20	17,0
РКС-20.03 (Припять, РКСБ-104 и др.)	Радиометр бета-гамма-излучения	Контроль радиационной обстановки в местах проживания, пребывания и работы по величине гамма-фона загрязненности поверхностей бета-активными нуклидами	МЭД 0,01-20 мР/ч; мощн. эквив. дозы 0,1-200 мкЗв/ч 10-20000 част/(мин.см ²) 0,05-3,0 МэВ ±25%				0,3

Таблица 5

Средства измерения удельной (объемной) активности

Радиометр КРК-1	Корабельный радиометр комбинированный	Определение удельной активности альфа- и бета-радионуклидов в твердых, жидких и газообразных средах	Сыпучие, твердые вещества, продукты: альфа-активность 1.10 ⁻¹¹ - 1.10 ⁻⁸ Ки/кг; бета-активность - 5.10 ⁻⁹ - 1.10 ⁻⁶ Ки/кг Воздух: Бета-активные газы: 1.10 ⁻⁹ - 1.10 ⁻⁵ Ки/л Бета-аэрозоли 1.10 ⁻² - 1.10 ⁻⁸ Ки/л Жидкие среды: Альфа-активность - 1.10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁸ Ки/л; Бета-активность - 1.10 ⁻¹⁰ - 1.10 ⁻⁸ Ки/л.	Основная: для альфа-нуклидов не более ±20%, для бета-нуклидов не более ±25%	Плюс 50 – минус 20	24,0
ИМД-12	Измеритель мощности дозы	Измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, внешнего бета-излучения различных поверхностей, удельной альфа- и бета-активности проб воды и фуража	МЭД гамма-излучения - 1.10 ⁻⁵ - 999 Р/ч; Внешнее бета-излучение - 5.10 ³ - 5.10 ⁵ расп/(мин.см ²); Удельная альфа-активность 1.10 ⁻⁴ - 1.10 ⁻¹ Ки/кг; Удельная бета-активность - 1.10 ⁻⁶ - 1.10 ⁻³ Ки/кг.	±25%	Плюс 50 – минус 50	2,5
Спектрометр ГАММА-1П	Гамма-спектрометр с полупроводниковым детектором	Проведение качественного и количественного анализа проб окружающей среды (пищевые продукты, вода, грунты, сырье, строительные материалы и пр.)	Нижний предел измеряемой активности по Cs-137 за время измерения 1 час и уровне внешнего гамма-фона 16 мкР/ч (100 см ³) 0.5 Бк. Число каналов анализатора 1024-8192. Число спектрометрических трактов на одном IBM PC до 8 шт.	0,05-5 МэВ	Энергетическое разрешение по линии 1,33 МэВ (Co-60) 1.8-3.5 кэВ Интегральная нелинейность <0,05%	
Спектрометр ГАММА-1С	Гамма-спектрометр со сцинтилляционным детектором	Проведение качественного и количественного анализа проб окружающей среды (пищевые продукты, вода, грунт, сырье, строитель-	Нижний предел измеряемой активности по Cs-137 за время измерения 1 час и уровне внешнего гамма-фона 16 мкР/ч (100 см	0,05-3 МэВ	Энергетическое разрешение по линии 661 кэВ (Cs-137)	

		ные материалы и пр.)	3) 1,5 Бк. Число каналов анализатора 1024. Число спектрометрических трактов на одном IBM PC до 8 шт.		
Спектрометр	Полупроводниковый альфа-спектрометр	Измерение активности альфа-излучающих нуклидов в пробах различных объектов после их радиохимической подготовки (пищевых продуктов, воды, грунтов и др.).	Площадь детектора 3000, 1000, 400 мм ² . Максимальный диаметр измеряемого образца 70 мм. Число каналов анализатора от 1024 до 8192	Диапазон регистрации энергий 3-9 МэВ	Энергетическое разрешение по линии 5.15 МэВ для источника ОСИАИ, расположенного на расстоянии 45 мм от детектора: : 3000-00 кэВ 1000-<60 кэВ 400-<40кэВ
СЭА-13П		Экспрессный контроль аэрозольных выбросов в атмосферу производственных помещений отбором проб на фильтры АФА-РСП-20 и измерениями без подготовки проб			

Примечание: Могут быть также использованы любые аналогичные более современные приборы и аппаратура с чувствительностью не хуже указанной в т

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф.* Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве. Справочник. – Л.: Гидрометеоздат, 1994. – 501 с.
2. *Акасофу С.И., Чепмен С.* Солнечно-земная физика. Т. 1. – М.: Мир, 1974. – 384 с.
3. *Акасофу С.И., Чепмен С.* Солнечно-земная физика. Т. 2. – М.: Мир, 1975. – 512 с.
4. *Аксенов В.В.* Электромагнитное поле Земли. – Новосибирск. ИВМ и МГ СО РАН, 2002. – 217 с.
5. *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Портрет Земли из космоса. Глобальное радиотепловое поле // Природа. – 2006. № 9.
6. Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели) / Ред. *О.В. Лапина, О.Д. Рейнгерци.* – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 511с.
7. *Афанасьев Ю.А., Фомин С.А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды. Ч. 1, 2. – М.: МНЭПУ, 1998.
8. *Ашихмина Т.Я.* (Ред.) Экологический мониторинг. – М.: Академический проект, 2005. – 416 с.
9. *Багров А.В.* Околоземная астрономия – новая астрономическая дисциплина // Земля и Вселенная. – 2001. №6. - С. 3-11.
10. *Барсуков О.А., Барсуков К.А.* Радиационная экология. – М.: Научный мир, 2003. – 253 с.
11. *Бельчанский Г.И.* Экологическая ситуация и проблемы создания глобальной космической системы экологического мониторинга // Исследования Земли из Космоса. – М.: 1992. № 4. - С. 57–65.
12. *Берлянд М.Е.* Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 136с.
13. *Богдановский Г.А.* Химическая экология. – М.: МГУ, 1994. – 237 с.
14. *Бурдин К.С.* Основы биомониторинга. - М.: 1985. - 185 с.
15. *Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. — Л.: Гидрометеоздат, 1985.
16. *Е.В. Веницианов и др.* Экологический мониторинг: шаг за шагом / Под ред. *Е.А. Заика.* — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. — 252 с.
17. *Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А., Мартынюк В.С.* Космическая погода и наша жизнь. – Фрязино. «Век-2», 2004. – 224 с.
18. *Власов М.Н., Кричевский С.В.* Экологическая опасность космической деятельности. Аналитический обзор. – М.: Наука, 1999. - 240 с.
19. Военная экология / Под ред. *В.И. Исакова.* – М.-Смоленск: ИД Камертон-Маджента, 2006. – 724 с.
20. *Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д.* Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Т.2. - СПб, 1998. - 592 с.
21. *Горшин В.А., Чернецов В.Б., Волков В.В., Борисенко Л.Н.* Приборы дозиметрического и химического контроля для объектов экономики: Методическая разработка. – Н. Новгород: НГТУ, 2003. – 19 с.
22. *Грюнберг Г.Ю., Лапкина Н.А., Малахов Н.В., Фельдман Е.С.* Картография с основами топографии. – М.: Просвещение, 1991. – 368 с.
23. *Гутенев В.В., Денисов В.В., Денисова И.А., Камышев А.П., Москаленко А.П., Нагнибеда В.А., Осадчий С.Ю., Хорунжий Б.И.* Промышленная экология / Под ред. *В.В. Денисова.* – М.: ИКЦ «МарТ», 2007. -720 с.
24. *Данилин И.М., Медведев Е.М., Мельников С.Р.* Лазерная локация земли и леса. – СПб: ЦИТ СГГА, 2007.

25. Дулов В.Г., Цибаров В.А. Математическое моделирование в современном естествознании: Учебное пособие / Под ред. чл.-кор. РАН В. Г. Дулова. СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. 244 с.
26. Емельянов А.Г. Комплексный геоэкологический мониторинг. Учебное пособие. – Тверь, 1994. – 88 с.
27. Иванов А. Ю., Ермошкин И. С., Фанг М., Хе М.-С., Кровотынцев В. А. Использование космической радиолокации широкого обзора для картографирования нефтяных загрязнений моря // Исследование Земли из космоса. - 2005, №5. - С. 78-95.
28. Ивлев Л.С. (Ред.) Экология космоса. Материалы научных семинаров. – СПб, 2001. – 114 с.
29. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. — М.: Гидрометеоиздат, 1984. — 560 с.
30. Как организовать общественный экологический мониторинг / Под ред. М.В. Хотулевой. – М.: 1996.
31. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 463 с.
32. Климов С.И., Родин В.Г., Григорян О.Р. Изучение и контроль «космической погоды» // Земля и Вселенная. – 2000. №4. - С. 9-18.
33. Книжников Ю.Ф. Основы аэрокосмических методов географических исследований. - М.: МГУ, 1986.
34. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: МГУ, 1995. – 272 с.
35. Короновский Н.В. Сейсмическая томография // Соросовский образовательный журнал. – 2000. № 11. – С. 63-68.
36. Крапивин В.Ф., Свирежнев Ю.М., Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
37. Куклев Ю.И. Физическая экология. – М.: Высшая школа, 2003. – 357 с.
38. Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А., Пузаченко Ю.Г. География и мониторинг биоразнообразия. - М.: Изд-во НУМЦ, 2002. - 432 с.
39. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – СПб: Гидрометеоиздат, 2005.
40. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. - М.: Мир. 1987. - 550 с.
41. Моргунов В.К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений. – Ростов/Д: Феникс. – Новосибирск: Сибирское соглашение, 2005. – 331 с.
42. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 304 с.
43. Муртазов А.К., Воскресенский А.В., Колосов Д.В., Титов П.В. Экологический мониторинг загрязнения околоземного пространства оптическими средствами // Экологические системы и приборы. – 2007, № 3. – С. 24-26.
44. Муртазов А.К. Физические основы экологии околоземного пространства. Учебное пособие. – Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2008. – 272 с.
45. Прохоров А.М. (Ред.). Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. - 928 с.
46. Пэнтл.Р. Методы системного анализа окружающей среды. – М.: Мир, 1979.- 214с.
47. Рис У. Основы дистанционного зондирования. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
48. Сахаров В.К. Радиоэкология. – СПб.: Лань, 2006. – 320 с.
49. Семенов В.А. Мониторинг гидросферы // СОЖ. – 1997, № 11. – С. 53-58.
50. Сергеев Е.М. Инженерная экология. – М.: 1982.
51. Степановских А.С. Прикладная экология. – М.: Юнити, 2003. – 725 с.
52. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. –Л.: Гидрометеоиздат, 1978. –392с.
53. Тверской П.Н. Курс геофизики. – Л.-М. 1936. - 654 с.

54. *Трешников А.Ф.* (Ред.). Географический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 432 с.
55. *Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е.* Общая и экологическая геофизика. – М.: Физматлит, 2005. – 576 с.
56. **Федеральный закон «Об охране окружающей среды».** – М.: 2002.
57. *Федоров В.Д., Гильманов Т.Г.* Экология. – М: МГУ, 1980. – 464 с.
58. *Хромов С.П., Петросянец М.А.* Метеорология и климатология. – М.: МГУ: Наука, 2006. – 582 с.
59. *Чебышов С.Б., Леонов А.Ф., Федоровский Ю.П., Федоровский П.Ю.* Приборное обеспечение радиационно-экологического мониторинга // Экологические системы и приборы. – 2007, № 6. – С. 34-39.
60. Экологический энциклопедический словарь. - М.: Издательский дом «Ноосфера», 1999. 930 с.
61. *Ямпольский Ю.М.* Связь атмосферной и космической погодных систем // Труды VI сессии молодых ученых БШФФ-2003 «Волновые процессы в проблеме космической погоды». - Иркутск, 2003. - С. 9-10.