

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского"**

Научно-исследовательский институт химии

Учебное пособие

**МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Составитель: Захарычева Н.С.

Подготовлено в рамках выполнения проекта «Мониторинг и прогнозирование состояния хранилища радиоактивных отходов Нижегородской области и разработка мер по предотвращению попадания радионуклидов в объекты окружающей природной среды» (соглашение №14.37.21.0812 от 31 августа 2012 г.)

2013 год

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Радиоактивное загрязнение окружающей среды	3
Предельно-допустимая доза	4
Контрольные уровни	4
Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды	6
Мониторинг радиоактивного загрязнения окружающей среды	8
Предмет мониторинга	8
Методы радиационного мониторинга окружающей среды	9
Автоматизированная система контроля радиационной обстановки	9
Методы дистанционного обнаружения и контроля радиоактивного загрязнения	10
Радоновый мониторинг	11
Государственные и ведомственные службы контроля радиационного загрязнения природной среды	13
Общая характеристика ФГУП «РосРАО»	12
Филиал «Приволжский территориальный округ»	13
Деятельность филиала «Приволжский территориальный округ»	13
Радиационный контроль	15
Обращение с радиоактивными отходами	17
Список литературы	18

ВВЕДЕНИЕ

Одно из центральных мест в обеспечении устойчивого развития человеческого общества занимает проблема защиты окружающей среды. Для ее решения необходимо создание системы, способной определять источники и факторы техногенного воздействия, контролировать состояние окружающей среды, выявлять элементы биосферы, наиболее подверженные воздействию и оценивать степень этого воздействия. В связи с этим ключевой системой обеспечения качества природной среды стал *экологический мониторинг* - "система регулярных, длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающая информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогнозов на будущее параметров окружающей среды, имеющих значение для человека".

Важной частью экологического является *радиационный мониторинг* окружающей среды. На сегодняшний день значительное радиоактивное загрязнение территорий земного шара, вызванное как военно-промышленным использованием ядерных технологий, так и авариями на энергетических ядерных объектах делает весьма актуальным совершенствование системы организации и проведения радиационного мониторинга природной среды.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды

Особое место в процессах загрязнения атмосферного воздуха, воды, почвы, всей окружающей человека природной среды занимает радиоактивное загрязнение.

Радиоактивное загрязнение характеризуется присутствием радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или в другом месте в количестве, превышающем установленные уровни.

Предельно-допустимая доза

Предельно-допустимая доза (дозовый предел) - значение эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которое не должно превышать за год в условиях нормальной работы.

Поглощенная доза (D) - дозиметрическая величина, определяемая выражением:

$$D = \frac{de}{dm} \quad (1)$$

где de - средняя энергия, переданная ионизирующим излучением элементарному объему вещества, а dm - масса вещества в этом объеме. Единицей измерения поглощенной дозы является *грей*, Гр.

Эквивалентная доза (H_T) - дозиметрическая величина, определяется выражением:

$$H_{T,R} = W_R D_{T,R}, \quad (2)$$

где $D_{T,R}$ - средняя поглощенная доза в органе или ткани T , а W_R - взвешивающий коэффициент для излучения R .

Единицей эквивалентной дозы является джоуль, деленный на килограмм, имеющий специальное название *зиверт*, Зв.

Эффективная доза (H_E) - величина, используемая как мера риска возникновения стохастических последствий облучения всего тела человека или отдельных его органов с учетом их радиочувствительности:

$$H_E = \sum W_T \cdot H_T, \quad (3)$$

где W_T - взвешивающий коэффициент для ткани T , а H_T - эквивалентная доза в ткани T . Единица эффективной дозы - зиверт, Зв.

Контрольные уровни

Контрольный уровень - значение контролируемой величины - дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т.д.,

устанавливаемое руководством организации по согласованию с территориальным органом госсанэпиднадзора для закрепления достигнутого в организации уровня радиационной безопасности.

№ п/п	Наименование объекта	Объектовый показатель "Контрольного уровня"
Доза и мощность дозы при работе с открытыми радиоактивными источниками		
1*	Мощность дозы на рабочем месте ($H_{\text{ЭКВ}}$)	не более 7,5 мкЗв/ч
2	Годовая доза облучения всего тела ($E_{\text{эфф}}$)	не более 10 мЗв/год
Контрольные уровни радиоактивного загрязнения воздуха		
3**	Радиоактивное загрязнение воздуха в лаборатории а) для α - излучающих радионуклидов б) для β - излучающих радионуклидов	$\text{Th}^{232} - 0,15 \text{ Бк/м}^3$ $\text{U}^{238} - 2,0 \text{ Бк/м}^3$ 1,0 - 4,0 Бк/м ³
4	Радиоактивное загрязнение воздуха в вентиляционных выбросах: а) для α - излучающих радионуклидов б) для β - излучающих радионуклидов	$\text{Th}^{232} - 4,0 - 3,0 \text{ Бк/м}^3$ $\text{U}^{238} - 3,0 - 2,0 \text{ Бк/м}^3$ 45 Бк/м ³
Радиоактивное загрязнение поверхностей в любой точке лаборатории, кроме боксов и вытяжных шкафов, где выполняются работы		
5	Радиоактивное загрязнение оборудования, рабочих поверхностей, инструментов, кожных покровов и т. д. а) при выполнении работы б) загрязнение кожных покровов при выполнении работ в) по окончании работ	10 α - частиц/см ² мин (снимаемое) 1500 β - частиц/см ² мин 1 α - частица/см ² мин (снимаемое) 1000 β - частиц/см ² мин α - излучение по показаниям приборов отсутствует (снимаемое) β - излучение менее 40 β - частиц/см ² мин
6	Радиоактивное загрязнение оборудования, инструмента, контейнеров и т. д. в хранилище радионуклидов	50 α - частиц/ см ² мин 500 β - частиц/см ² мин
7	Мощность дозы ($H_{\text{ЭКВ}}$) в любой точке на расстоянии 1 метра от дверцы сейфа или крышки колодца в хранилище	20 мкЗв/ч
8	Содержание радиоактивных отходов в сточной воде	не более 7,0 ДУА Бк/кг
Контейнеры для захоронения радиоактивных отходов		
9	Наружное загрязнение радионуклидами	отсутствует
10	Мощность дозы ($H_{\text{ЭКВ}}$) в любой точке на расстоянии 0,1 метра от наружной поверхности контейнера	20 мЗв/ч
11	Мощность дозы ($H_{\text{ЭКВ}}$) в любой точке на расстоянии 1 метра от наружной поверхности контейнера	0,1 мЗв/ч

* - Для женщин до 45 лет эквивалентная доза в коже на поверхности нижней части живота не более 1 мЗв в месяц

** - Для женщин до 45 лет концентрация радиоактивных веществ в воздухе на рабочем месте не должна превышать 1/20 от объектового показателя КУ

Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды

Ионизирующее излучение – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

Биосфера как одна из стадий развития географической оболочки была сформирована в условиях естественного радиоактивного фона и все органические вещества, необходимые для возникновения жизни на Земле образовались под воздействием ионизирующей радиации.

Источник ионизирующего излучения - радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение.

Выделяют два вида источников радиоактивного загрязнения: природные и техногенные.

Источник излучения природный - источник ионизирующего излучения природного происхождения.

К естественным источникам радиации относят

- космическое излучение, изотопы тритий и ^{14}C , постоянно образующиеся в земной атмосфере при взаимодействии космического излучения с азотом,

- ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th и радиоактивные изотопы - члены их семейств,

- природный радиоактивный изотоп калия - ^{40}K .

Обусловленный вышеуказанными источниками естественный фон излучения составляет ~ 200 мрад/год. Однако в связи с их неравномерным распределением фон может колебаться и в местах

нахождения руд и минералов с высоким содержанием урана и тория (например, Индии, Бразилии) естественный фон может достигать 380-550 мрад/год, а в отдельных случаях даже 2-2,8 рад/год. В РФ естественный фон составляет 40-200 мрад/год (4-20 мкрад/ч).

Однако на увеличение радиационного фона Земли оказывают воздействие не только естественные, но и техногенные источники радиации.

Источник излучения техногенный - источник ионизирующего излучения, специально созданный для его полезного применения или являющийся побочным продуктом этой деятельности.

К техногенным источникам загрязнения окружающей среды радиоактивными изотопами можно отнести следующие:

- ядерная промышленность, которая вносит основной вклад в антропогенное загрязнение окружающей среды наряду с испытаниями ядерного оружия;
- добыча и переработка радиоактивного минерального сырья;
- радиоактивные отходы;
- сжигание топлива (особенно каменного угля);
- переработка фосфоритов (при которой происходит концентрирование находящихся в них урана и тория);
- тепловые электростанции;
- аварии искусственных спутников земли и самолетов;
- боеприпасы с обедненным ураном;
- «космический мусор»;
- загрязнение морей атомными кораблями.

Воздействие вышеуказанных источников в той или иной мере привели к значительным изменениям экологических свойств природной среды. Так, например, с момента взрыва первой атомной бомбы в мире было проведено около 2 тыс. испытательных взрывов, значительная часть

этих испытаний сопровождалась существенными поступлениями в окружающую среду радиоактивных веществ, что привело к росту уровня естественного радиоактивного фона Земли, остававшегося стабильным в течение многих миллионов лет.

Мониторинг радиоактивности окружающей среды

Возрастание уровня радиоактивного загрязнения окружающей среды требует проведения комплексных мероприятий, включающих в себя контроль радиационного состояния воздушной среды, поверхностных вод и водных экосистем, геологической среды и наземных экосистем. Для достижения этой цели необходимым является проведение радиационного мониторинга окружающей среды.

Мониторинг радиоактивности природной среды - постоянные, непрерывные комплексные наблюдения за состоянием окружающей природной среды и ее загрязнением, природными явлениями, которые происходят в ней, а также оценка и прогноз состояния окружающей природной среды и ее загрязнения.

Радиационный мониторинг включает в себя как наблюдения за естественным (природным) радиационным фоном, так и наблюдения за техногенным радиоактивным загрязнением основных природных компонентов, а именно контроль источников загрязнения на данной территории; контроль распределения радионуклидов в компонентах биосферы, оценку их миграционных свойств в конкретных экологических цепочках и способность концентрироваться в отдельных звеньях трофических цепей (в т.ч. загрязнение сельскохозяйственных угодий, почв, воды водоемов, кормов, растительной и животноводческой продукции); контроль доз облучения населения и биоты на данной территории.

Предмет радиационного мониторинга

Предметом мониторинга являются радионуклиды - продукты ядерного распада с коротким (^{89}Sr , ^{95}Zr , ^{99}Mo , ^{103}Ru , ^{131}I , ^{133}Xe) и средним временем жизни (^{90}Sr , ^{85}Kr , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{154}Eu , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{135}Cs , ^{236}U , 238 , 239 , ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{243}Cm). Кроме того, предметом радиационного мониторинга являются продукты активации конструкционных материалов ядерных установок (^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$), воздуха и воды (^3H , ^{14}C). В зависимости от особенностей объекта (территории) мониторинга перечень радионуклидов и их приоритетность могут меняться.

Методы радиационного мониторинга окружающей среды

Первые методы определения радиоактивности в окружающей среде были ориентированы на получение общих, суммарных оценок количества гамма-, бета-, альфа-излучающих радионуклидов. Это были довольно простые измерительные установки, основанные на газоразрядных счетчиках с пересчетными установками. В настоящее время преимущество отдают методам оценки конкретных радионуклидов, поскольку при оценке доз облучения должен учитываться вклад каждого радионуклида. Однако когда нормативными требованиями предусматривается определение суммарной активности альфа- или бета-излучающих радионуклидов, такие измерения также включаются в программу мониторинга.

В мониторинговой практике наибольшее применение имеют следующие методы измерения:

- гамма-спектрометрия с энергетическим диапазоном от 20 до 2000 кэВ. Такие методы имеют нижнюю границу чувствительности около 1 Бк / кг для большинства радионуклидов.
- альфа-спектрометрия для альфа-излучающих радионуклидов (особенно изотопов Pu, Am и Cm). Определение альфа-

излучателей обычно требует предварительного радиохимического анализа, последовательного селективного выделения радионуклидов и изготовление тонких твердых источников, готовых к альфа-спектрометрии.

Автоматизированная система контроля радиационной обстановки

Основным средством осуществления радиационного мониторинга является автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО). АСКРО может функционировать в различных режимах:

1. режим повседневной деятельности,
2. режим повышенной готовности,
3. аварийный режим.

Система включает в себя следующие компоненты:

- система стационарных постов радиационного контроля, соединенных линиями связи с пунктом сбора и обработки информации;
- воздушный комплекс радиационной разведки - самолеты и вертолеты, оборудованные соответствующими приборами;
- наземный комплекс радиационной разведки - передвижные посты радиационного контроля, оборудованные на микроавтобусах и легковых автомобилях;
- надводный (подводный) комплекс радиационной разведки - суда и батискафы, оборудованные приборами для регистрации радиационного излучения.

В дополнение к АСКРО также широко используются ручные (переносные) средства радиационного контроля – **дозиметры и спектрометры**. Они предназначены для контроля в полевых условиях концентрации радионуклидов в воде, воздухе, почве или пищевых продуктах. *Дозиметры* позволяют фиксировать только мощность экспозиционной дозы (в миллирентгенах в час), а также характер

радиоактивного излучения; *спектрометры* используются для определения концентрации радионуклидов в воде, воздухе или почве. В отличие от приборов АСКРО они позволяют определять гораздо меньшее количество параметров радиационной обстановки, однако, их несомненным достоинством является легкость использования и оперативность получения результатов.

Методы дистанционного обнаружения и контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды

С ростом доли АЭС в общем производстве электроэнергии все более актуальным становится разработка новых эффективных методов *дистанционного* обнаружения и контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Существующие методы дистанционного зондирования следов радиоактивной ионизации разделяют на прямые и косвенные.

- **Прямые** основаны на регистрации интенсивности и спектра ионизирующего излучения объекта,
- **Косвенные** регистрируют изменение окружающей среды под действием этого излучения.

Наибольшее распространение приобрели прямые методы мониторинга. Однако, их пространственная разрешающая способность и чувствительность недостаточны для мониторинга радиоактивности из космоса, т.к. они позволяют производить измерения с расстояний не более сотен метров.

Для дистанционного зондирования подходят косвенные методы, позволяющие оценить уровень радиоактивного загрязнения по отклику окружающей среды на ионизирующее излучение. Этот подход позволяет использовать традиционные методы дистанционного мониторинга приземных слоев атмосферы, поверхностей океана и Земли.

Радоновый мониторинг

Специфическим подвидом радиационного мониторинга является *радоновый мониторинг* - наблюдение и оценка изменения концентрации радона в атмосферном или почвенном воздухе.

Радон – это радиоактивный газ, продукты распада которого попадают в организм вместе с вдыхаемым воздухом, за счет этого он представляет значительную опасность для здоровья человека.

Радон может накапливаться в жилых и производственных помещениях при пользовании газом, водопроводом; он может просачиваться из горных пород сквозь трещины в полу, фундаменте или стенах.

Главной особенностью радонового мониторинга является то, что он проводится *только внутри помещений* (жилых, социально-культурных, производственных и пр.).

Радоновая съемка - процесс измерения концентрации радона в воздухе. Как правило, для ее проведения выбирают самое маленькое по объему помещение, расположенное на самом нижнем этаже (или в подвале) обследуемого здания. Сам процесс съемки заключается в отборе проб воздуха через определенные промежутки времени. При этом измеряется либо накопленная во времени доза излучения радона и продуктов его распада, либо «мгновенная» концентрация радона в больших объемах анализируемого воздуха. Из оборудования применяются либо специальные детекторы содержания радона, либо различные эманометры.

Государственные и ведомственные службы контроля радиационного загрязнения природной среды

Общая характеристика ФГУП «РосРАО»

Проблема обращения с РАО в ядерной энергетике занимает сегодня одно из центральных мест.

Крупнейшей специализированной компанией, профессионально занимающейся обращением с радиоактивными отходами (РАО) в масштабах Российской Федерации является Федеральное государственное унитарное предприятие «РосРАО», работающее в системе Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

К настоящему времени структура предприятия состоит из 8 филиалов – территориальных округов, включающих 16 отделений. Предприятие использует в своей работе самые современные технологии и способы обращения с РАО.

Основной задачей «РосРАО» является сбор, транспортировка, переработка, прием на долговременное хранение РАО низкого и среднего уровня активности.

Филиал «Приволжский территориальный округ»

Одним из восьми филиалов в структуре федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» является **филиал «Приволжский территориальный округ»**.

Филиал «Приволжский территориальный округ» в настоящее время является самым крупным на предприятии, в его состав входит 6 отделений: Благовещенское (г. Благовещенск, Республика Башкортостан); Казанское (г. Казань, Республика Татарстан); Кирово-Чепецкое (г. Кирово-Чепецк, Кировская область); Нижегородское (г. Нижний Новгород); Самарское (г. Самара); Саратовское (г. Саратов). Руководство филиала базируется в г. Нижний Новгород.

Нижегородское отделение эксплуатируется с 1960 года и располагается на двух промплощадках. В г. Нижний Новгород находится административное здание, спецгараж, стоянка транспорта общехозяйственного назначения, лаборатория радиационного контроля, ремонтный бокс, мастерская ремонтного участка и вспомогательные сооружения. В Семеновском районе, на расстоянии около 100 км от г. Нижнего Новгорода находится пункт хранения радиоактивных отходов, в состав которого входят хранилища радиоактивных отходов, санпропускник, пункт сторожевой охраны и вспомогательные сооружения. Для предприятия установлена санитарно-защитная зона размером 1 км от границ зоны ограниченного доступа пункта хранения радиоактивных отходов.

Деятельность филиала «Приволжский территориальный округ»

В своей деятельности филиал «Приволжский территориальный округ» следует экологической политике ФГУП «РосРАО», которая направлена на экологически безопасное и устойчивое развитие в ближайшей перспективе и в долгосрочном периоде, при которых предприятием наиболее эффективно обеспечивается достижение стратегической цели – сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития общества, повышение качества жизни, улучшение здоровья населения, обеспечение экологической безопасности страны.

Филиал обеспечивает безопасное обращение с радиоактивными отходами, образующимися на предприятиях, в войсковых частях, учреждениях и организациях различных ведомств обслуживаемого региона.

В соответствии с лицензиями на право ведения работ в области использования атомной энергии и аттестатами аккредитации

лабораторий радиационного контроля отделения филиалы (за исключением Кирово-Чепецкого) выполняют следующие работы:

- обращение с радиоактивными отходами, радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения при сборе, сортировке, кондиционировании и хранении;
- обращение с радиоактивными отходами, радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения при их транспортировании;
- проведение радиационного контроля и определение радионуклидного состава радиоактивных отходов;
- определение радионуклидного состава проб объектов окружающей природной среды;
- проведение работ по индивидуальному дозиметрическому контролю;
- радиационное обследование жилых, общественных, промышленных зданий и объектов;
- проведение работ по дезактивации одежды, средств защиты, технологического оборудования, транспортных контейнеров, специализированных автомашин;
- поверка и ремонт дозиметрических и радиометрических приборов;
- осуществление работ в рамках системы государственного учёта и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации.

Радиационный контроль

Главной задачей производственного радиационного контроля является осуществление контроля за уровнями радиации и обеспечение радиационной безопасности.

В состав мероприятий производственного радиационного контроля входят:

- радиационный контроль в пределах территории пунктов хранения и хранилищ радиоактивных отходов;
- радиационный контроль в санитарно-защитных зонах и зонах наблюдения;
- индивидуальный дозиметрический контроль персонала.

Радиационный контроль в пределах территории пунктов хранения и хранилищ радиоактивных отходов предусматривает проведение дозиметрического и радиометрического контроля производственных помещений и окружающей среды и осуществляется службами радиационного контроля и персоналом лабораторий путем измерения:

- ✓ мощности дозы γ -излучения на рабочих местах;
- ✓ загрязнения α - и β -активными веществами поверхностей производственных помещений и оборудования с определением нуклидного состава загрязнения;
- ✓ объемной активности радона в производственных помещениях;
- ✓ объемной активности и нуклидного состава радиоактивных веществ в аэрозолях воздуха производственных помещений.

Радиационный контроль в пределах санитарно-защитных зон и зон наблюдения предусматривает:

- ✓ измерение мощности дозы γ -излучения по маршруту движения спецавтомобилей до ближайших населенных пунктов;
- ✓ измерение мощности дозы γ -излучения на территории ближайшего населенного пункта;
- ✓ измерение мощности дозы γ -излучения по маршрутам мониторинга;
- ✓ измерение удельной активности и определение нуклидного состава радиоактивных веществ в водах открытых водных

объектов, подземных водах, почвах, донных отложениях, растительности и продуктах местного производства.

Индивидуальный контроль за облучением персонала включает:

- ✓ определение уровня загрязнения γ -, β -активными веществами средств индивидуальной защиты, кожных покровов и специальной одежды персонала;
- ✓ определение индивидуальной дозы внешнего облучения.

Результаты радиационного контроля сопоставляются со значениями пределов доз и контрольными уровнями и заносятся в радиационно-гигиенический паспорт предприятия.

Обращение с радиоактивными отходами

Радиоактивные отходы могут образовываться в процессе функционирования отделений филиала «Приволжский территориальный округ» и эксплуатации пунктов хранения и хранилищ

- ✓ при дезактивации транспортных средств, контейнеров, оборудования и спецодежды в пункте дезактивации,
- ✓ при выявлении источников ионизирующего излучения с истекшим сроком эксплуатации в процессе проведения инвентаризации,
- ✓ при выявлении радиационных загрязнений на территории объекта
- ✓ при ликвидации радиационных аварий.

По состоянию на 01.01.2012 в хранилищах филиала накоплены радиоактивные отходы суммарной активностью $2,22 \cdot 10^{+15}$ Бк в количестве $301\,755 \text{ м}^3$, из них - твердых радиоактивных отходов $301\,090 \text{ м}^3$, жидких радиоактивных отходов 665 м^3 .

Радиационная безопасность при обращении с радиоактивными отходами обеспечивается следующими факторами:

- контейнерное хранение радиоактивных отходов в хранилищах, обеспечивающих их длительное хранение;

- устойчивость зданий, хранилищ, оборудования к внешним воздействиям техногенного и природного характера;
- наличие на пунктах хранения радиоактивных отходов двухзональной планировки, включающей «чистую» зону со свободным доступом персонала и периодическим радиационным контролем и зону возможного загрязнения с ограниченным доступом персонала и постоянным радиационным контролем;
- строгое соблюдение правил перевозки опасных грузов, правил безопасной перевозки радиоактивных материалов и условий транспортирования, а также обеспечение качества используемых устройств, упаковок, приборов и материалов, грамотные действия персонала и надлежащее документальное оформление перевозок.

Список литературы

1. Родзевич Н.Н. Геоэкология и природопользование. М.: Дрофа, 2003. 256 с.
2. Зыкин П.В., Белова М.Г. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие 2-е изд., доп. и перераб. Москва, 2007. 73 с.
3. Муртазов А.К. Экологический мониторинг. Методы и средства: учеб. пособие Ч. 1. Рязань: Изд-во Рязанского государственного университета им. С.А. Есенина, 2008. 146 с.
4. Боярчук К.А. Новые методы дистанционного мониторинга состояния окружающей среды в зоне АЭС // Компетентность. 2011. № 6-87. С. 48.
5. ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» Отчет по экологической безопасности за 2011 год филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО». 2011. 29 с.