

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ С ЦЕЛЬЮ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ ВБЛИЗИ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Представлено результати досліджень авторів у питанні адекватності та ефективності використовуваних сьогодні методів дозиметрії для досягнення основної мети радіаційного моніторингу – визначення дозового навантаження на населення. Обґрунтовані і сформульовані напрямки необхідних досліджень з метою удосконалення радіаційного моніторингу територій поблизу ядерних об'єктів. Робота виконувалася відповідно до програми НДР «Використання моделей оцінки радіоекологічного ризику та моделей біодозиметричної оцінки для оптимізації еколого-дозиметричного моніторингу територій при аваріях на ядерних об'єктах» спільного україно-білоруського проекту ДФФД-БРФФД-2013 № Ф54.4/034.

Ключові слова: радіаційне навантаження, радіоекологічний моніторинг, цитогенетичний моніторинг, біодозиметрія.

Представлены результаты исследований авторов вопроса адекватности и эффективности используемых сегодня методов дозиметрии для достижения основной цели радиационного мониторинга – определения дозовой нагрузки на население. Обоснованы и сформулированы направления необходимых исследований с целью усовершенствования радиационного мониторинга территорий вблизи ядерных объектов. Работа выполнялась в соответствии с программой НИР «Использование моделей оценки радиоэкологического риска и моделей биодозиметричной оценки для оптимизации эколого-дозиметрического мониторинга территорий при авариях на ядерных объектах» совместного украинно-белорусского проекта ГФФИ-БРФФД-2013 № Ф54.4/034.

Ключевые слова: радиационная нагрузка, радиоэкологический мониторинг, цитогенетический мониторинг, биодозиметрия

The results of the study authors question the adequacy and effectiveness of the methods used dosimetry to achieve the main goal of radiation monitoring – determining the radiation dose to the population. The direction of the necessary research in order to improve radiation monitoring areas near nuclear facilities are reasoned and articulated. Studies is executed in accordance with renal programs «Using radioecological risk models and biodozymetryc reviews to optimize the environmental radiation monitoring areas in accidents at nuclear facilities» of Ukraine-Belarus project USFFR-BRFFR-2013 № F54.4/034.

Key words: radiation exposure, radioecological monitoring, cytogenetic monitoring, biosimetry

В условиях широкого использования ядерной энергии в народном хозяйстве актуальным является изучение критериев оценки радиоактивного излучения как вредного фактора воздействия на людей и объекты окружающей среды, а также методов и способов управления уровнями облучения населения. Считается, что современная система нормирования техногенного радиоактивного загрязнения окружающей среды требует совершенствования из-за недостаточного учета существующих параметров воздействия техногенных радионуклидов на экосистемы и экологического

эффекта различных взаимодействий радиации с другими промышленными поллютантами. Современные принципы регламентации облучения человека предполагают, что профилактика возникновения нестохастических эффектов обеспечивается достаточно низким лимитом годовой эффективной дозы. Поэтому совершенствование требует и система государственного управления за организацией защиты населения от действия ионизирующего излучения, а также система эколого-дозиметрического мониторинга, как ее главного инструмента.

Целью исследований, представленных в данной работе, является анализ результативности задействованных сегодня в системе радиационного мониторинга методов оценки дозовой нагрузки на человека и определение основных направлений его совершенствования.

Материалы исследований. Используются материалы радиоэкологических и радиационно-гигиенических исследований авторов на территории юга Украины [1; 5], цитогенетических исследований на территории Беларуси [2-4], пострадавших при аварийно-чернобыльском выбросе радионуклидов.

Результаты исследований и их обсуждение. Эколого-дозиметрический мониторинг выступает главным инструментальным звеном в управлении состоянием окружающей среды на радионуклидно загрязненных территориях. Цели радиационного мониторинга территорий вокруг АЭС в современном понимании заключаются в следующем:

1. Определение возможных последствий радиационных аварий на АЭС на наземные и водные экосистемы на фоне действия химического и теплового загрязнения, других антропогенных вмешательств в биогеоценозы, выработка экологических норм радиационных и других воздействий на различные экосистемы при их одновременном действии,

2. Получение информации для построения математических моделей физико-химических, биохимических и биологических процессов в биогеоценозах, математических моделей функционирования биогеоценозов в условиях антропогенных нагрузок и информации для параметризации этих моделей.

3. Выявление комплекса показателей, характеризующих состояние эко-логических систем, допустимого отклонения их от нормы как основы экологического нормирования антропогенного погрузчик, выявления биоиндикаторов качественной оценки состояния экосистем.

В зависимости от вида и мощности источников, масштабов распространения радиоактивных веществ и характера обусловленного ими загрязнения окружающей среды современные подходы к организации мониторинга разные. Однако во всех случаях конечная цель мониторинга – это предупреждение негативного воздействия этого фактора на здоровье человека путем своевременного определения дозовой нагрузки и использования тех или иных способов ее снижения.

Это обеспечивается следующими мероприятиями:

- контроль за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды (атмосферный воздух, почва, вода, пищевые продукты и т.д.), выявление основных путей их воздействия на человека;

- контроль за поступлением радиоактивных веществ в человека по определенным путям (пероральный, ингаляционный), а также за дозами при внешнем и внутреннем облучении, определение дозы облучения населения.

Осуществление первого мероприятия обеспечивается:

- отбором и исследованием проб определенных объектов окружающей среды на содержание в них

радионуклидов с учетом характера отходов, условий их удаления и особенностей распространения;

- измерением доз ионизирующего излучения на местности (при гамма-излучателях).

- Выполнение второго мероприятия предусматривается следующими способами:

- определением количества радиоактивных веществ, попадающих в организм человека с определенных объектов окружающей среды ингаляционным и пероральными путями с учетом местных особенностей питания, водоснабжения соответствующих контингентов, продолжительности поступления и т.д.;

- определением содержания соответствующих радиоактивных нуклидов в организме человека (при необходимости);

- непосредственным измерением или расчетом доз внешнего облучения.

При этом требуется собрать информацию необходимую для:

а) оценки доз получают отдельные лица или группы лиц в результате загрязнения объектов окружающей среды или которые обусловлены природными источниками радиации;

б) оценки средних по времени популяционных доз, воздействию которых подвергается население области или страны, что обеспечивается усреднением по времени данных, характеризующих дозу облучения от всех источников ионизирующих излучений.

Ниже представлены сделанные авторами, по результатам исследований на радионуклидно загрязненных при аварии на ЧАЭС территориях Украины и Беларуси и на территории вблизи Южноукраинской (ЮУ) АЭС, выводы, касающиеся возможности достижения основной цели радиационного мониторинга, а именно установления дозовой нагрузки на население, по результатам современного радиационного мониторинга таких территорий.

Результаты исследований на радионуклидно загрязненных территориях Украины и Беларуси в результате аварии на ЧАЭС. Как показали результаты организации радиационного мониторинга территорий Украины и Беларуси после аварии на ЧАЭС, существуют определенные несовершенства его проведения. На территории Украины серьезные радиоэкологические последствия Чернобыльской аварии имели место в районе прохождения западного, а также южного и восточного радиоактивных следов. Плотность загрязнения ^{137}Cs в пределах южного следа достигала 100 КБк/м^2 . Широкомасштабные радиационные исследования по изучению последствий Чернобыльской катастрофы проводили, в основном, в центральных и западных областях Украины. Недостаточная изученность радиационного загрязнения южных и восточных регионов Украины и доз, которые получило население региона за счет как прямого, так и косвенного воздействия аварии, является одним из недостатков современного представления о последствиях чернобыльского выброса радионуклидов, без понимания которых невозможно оценить радиационные риски и их последствия для большой когорты населения. Причиной этого является именно недостаточное изучение радиационного загрязнения южных и восточных районов Украины в результате аварии на ЧАЭС.

На территории Беларуси, как сегодня очевидно, прямая физическая дозиметрия в послеварийный период не проводилась вообще, либо осуществлялась неадекватными методами и способами. Вследствие аварии на ЧАЭС значительные территории Республики Беларусь оказались загрязненными различными радионуклидами. До 23% территории с населением более 2 млн. чел. загрязнены ^{137}Cs (плотность загрязнения $> 1 \text{ Ки/км}^2$), еще более значимые площади и массы населения подвергались воздействию ^{131}I . Спектр радионуклидов чрезвычайно широк и включает целый ряд как кратко-, так и долгоживущих изотопов [Черно-быльский след на Беларуси. – Мн. – 1992. – С. 20].

Ретроспективный дозиметрический анализ осложняется не только чрезвычайно широким спектром радионуклидов, но также и тем, что многие жители продолжают проживать на загрязненных территориях, употребляя в пищу местные продукты. В результате радионуклиды по пищевым цепям поступают в организм, т.е. к внешнему облучению добавляется хроническое внутреннее.

Единственным возможным подходом в данном случае является оценка дозовых нагрузок биодозиметрическими методами, что позволяет оценить в каждом конкретном случае аддитивный эффект всех форм радиационного воздействия с учетом физиологического статуса организма конкретного индивидуума на момент облучения. К сожалению, методы физической дозиметрии не достаточно индивидуализированы, так как не учитывают индивидуальную радиочувствительность пострадавших, особенности их физиологического состояния, питания на момент воздействия и т.д., что в обязательном порядке сказывается на результатах биодозиметрии.

На сегодняшний день получено немало результатов, касающихся изучения отдаленных цитогенетических эффектов действия больших и малых доз ионизирующей радиации, а также возможности применения методов анализа хромосомных aberrаций для их ретроспективной биоиндикации. Длительное сохранение цитогенетических маркеров радиационного воздействия, возникших в результате аварийного облучения, позволяет проводить экспертную оценку наличия радиационного воздействия на организм человека через много месяцев, лет и даже десятилетий после контакта с ионизирующими излучениями.

Результаты исследований на территории вблизи Юэноукраинской АЭС позволяют сделать выводы, что приведенный выше механизм функционирования системы радиационного мониторинга территории вокруг АЭС может выступать только в качестве общего «скелета» мониторинга: в каждом конкретном случае программа мониторинга должна совершенствоваться, исходя из региональных особенностей формирования радиационной нагрузки на человека от всего комплекса действующих источников ионизирующего излучения. Например, при дозиметрическом мониторинге района ЮУАЭС необходимо учитывать различные пути поступления «станционного» ^3H в окружающую среду через различные миграционные водные цепочки, через дренаж, фильтрацию, через испарение ^3H из технологических водоемов. При этом

обязательно учитывать, что характер этих процессов отличается для разных районов и зависит от комплекса гидрологических, физико-химических, биологических, метеорологических и других факторов. Учитывать также перераспределение радионуклидов в прилегающей водной системе и возможного их поступления на сельскохозяйственные угодья с оросительной водой, а также различия в интенсивности переноса радионуклидов в сельскохозяйственные растения для различных оросительных систем, местные особенности ведения сельского хозяйства и кормления молочного скота, особенности социально-экономических условий жизни человека.

На сегодняшний день установлено, что приоритетными параметрами дозиметрического мониторинга района АЭС должны быть следующие:

- содержание ^{131}I и радиоактивных инертных газов непосредственно в выбросах (^{131}I – в траве и молоке коров, пасущихся на территории в пределах влияния выбросов АЭС);
- измерения гамма-излучения на территории в пределах распространения этого факела;
- содержание главных дозообразующих радионуклидов (^{137}Cs , ^3H) в водоемах, в которых куда поступают жидкие сбросы с АЭС;
- содержание главных дозообразующих радионуклидов (^{137}Cs , ^3H) в водоемах, водой которых орошаются сельхозкультуры;
- содержание ^3H в воздухе вокруг прудов-охладителей, брызгальных установок, в орошаемой воде, содержащей ^3H .

Кроме того, из-за наличия на юге Украины различных факторов хронического облучения человека от естественных и искусственных радиоактивных источников, существует необходимость не только определения уровней радиационной нагрузки на человека от каждого из этих источников, а возможность прогнозирования интегральной величины радиационной нагрузки на человека от всего комплекса источников. Сегодня при прогнозировании радиационной нагрузки на отдельного человека или населения чаще применяют методы математического моделирования. Эти методы уже в течение нескольких десятилетий являются одними из важных при дозиметрических и радиоэкологических исследованиях. Так, при радиоэкологическом моделировании поведения радионуклидов в наземных, водных экосистемах чаще используют методы имитационного моделирования. При дозиметрическом моделировании чаще всего используют метод концептуальных (камерных) моделей переноса радионуклидов в окружающей среде с последующим отражением в дозу облучения человека.

Главная цель построения таких моделей – разработка аппарата интерпретации уровней радиационного загрязнения в дозовую нагрузку человека. На сегодняшнее время существует немало математических моделей, отражающих формирование радиационной нагрузки на человека при радиационных авариях на ядерных предприятиях. В основе этих моделей лежат динамические процессы радиоактивного загрязнения и самоочищения почвы, растительности, пищевых продуктов. Это – модели Публикации № 29, 40, 41

МКРЗ, модели ECOSYS (H. Müller and G. Pröhl) [323], PATHWAY (Whicker F.W., Kirchner T.B.), модели Публікації № 129 НКРЗ США [298; 336] и др., которые воспроизводили тот или иной отдельный сценарий аварийного загрязнения.

Авторы считают, что с помощью известного метода камерных моделей переноса радионуклидов в окружающей среде и их поступления к человеку можно разработать способ оперативной оценки дозовой ситуации от определенного источника ионизирующего излучения. Для этого нужно исследовать пути поступления и распространения радиоактивности в окружающей среде от определенного источника (природного или техногенного происхождения), построить соответствующие концептуальные модели формирования радиационной нагрузки на человека, а параметры переноса радионуклидов между камерами могут быть найдены во время исследований миграции радионуклидов между соответствующими камерами.

Благодаря такому подходу формирование радиационной нагрузки на человека может быть представлено через содержание реперного радионуклида в объекте окружающей среды, стоящего в начале дозоформирующей цепочки и который, как правило, используется при радиационном мониторинге. При различных ситуациях как «реперные» могут выступать различные радионуклиды, так же как и состав уязвимых групп населения может быть представлен различными контингентами. Например, к радионуклидам, содержащимся в выбросах реакторов АЭС и удаляемых в атмосферу, обычно относят ^{131}I и группа радиоактивных инертных газов (^{41}Ar , ^{85}Kr , ^{133}Xe). Первый представляет опасность как источник внутреннего облучения щитовидной железы у детей, которые в данном случае являются наиболее уязвимой группой. Вторые выступают источником внешнего облучения, поэтому под их влияние подвергаются контингенты, включающие различные возрастные группы людей, проживающих на территории, находящейся под факелом указанных газов.

Кроме того, сегодня вопросы нормирования антропогенной нагрузки на окружающую среду рассматриваются не только со стороны санитарно-гигиенических, а и экологических принципов. Экологический подход к нормированию антропогенных воздействий АЭС на биогеоценозы ее региона, решение проблемы управления состоянием системы «АЭС – окружающая среда» требуют накопления такой информации, которая

может быть получена в результате организации и осуществления на нескольких АЭС радиационного экологического мониторинга. Называя мониторинг радиационным, не исключается вопрос о других поллютантов, которые попадают с АЭС в биогеоценозы прилегающих к АЭС территорий.

Более того, этим названием подчеркивается необходимость наблюдений и оценок синергичных эффектов, связанных с одновременным действием на биогеоценозы всех видов загрязнителей, а возможно и побочных антропогенных воздействий. Под побочными действиями понимаются действия, непосредственно не связанные с работой АЭС. Например, действия соседних промышленных или сельскохозяйственных предприятий, «экологический груз» новых населенных пунктов, появившихся в регионе АЭС, и другие.

Выводы:

1. Если на популяционном уровне усредненные дозы совпадают, и физическая дозиметрия имеет явные преимущества перед биологической (ценовой фактор, отработанные подходы и т.д.), то при оценке индивидуального риска именно данные биологической дозиметрии могут иметь наиболее критическое значение. Таким образом, физическая и биологическая дозиметрия существенно дополняют друг друга, а сочетание этих подходов значительно увеличивает информационное поле, необходимое для принятия решений медицинского и управленческого плана.

2. Для территорий, подверженных влиянию различных источников ионизирующего излучения, требуется разработка метода оперативной оценки дозовой ситуации. Такой подход предоставит возможность прогнозирования радиационной ситуации при различном и произвольном распределении загрязнения, проводя радиометрию проб только тех объектов внешней среды, которые стоят в начале определенной дозообразующей цепочки (при ингаляционном или пероральном поступлении радионуклидов к человеку) и только по одному радионуклиду, выбранному в качестве базового (реперного). Это, в свою очередь, даст возможность своевременно и оперативно оценивать радиационную ситуацию в форме, максимально адаптированной для ее восприятия лицами, принимающими решения. Также, на наш взгляд, это может сориентировать систему радиационного мониторинга не только со стороны санитарно-гигиенических, а и экологических принципов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григор'єва, Л. І., Томілін Ю. А. Формування радіаційного навантаження на людину в умовах півдня України: чинники, прогнозування, контрзаходи: Монографія. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – 370 с.
2. Мельнов С. Б., Малиновская Ю. В., Дрозд Т. Г., Шестерина Е. К. Динамика цитогенетического статуса соматических клеток у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Ежегодник «Экологическая антропология», Минск 2007, с. 2182–221.
3. Мельнов С.Б., Малиновская Ю.В., Кипень В.Н. Особенности цитогенетического статуса ликвидаторов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Актуальные проблемы дозиметрии: Материалы 6-го междунар. симпозиума, 28-30 ноября 2007 г., Минск, Республика Беларусь / Под ред. С. П. Кундаса, С. Б. Мельнова, В. Л. Гурачевского – Мн. : МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2007. – С. 70–74
4. Мельнов С. Б., Лебедева Т. В., Крапивина Н. С. Геномная нестабильность и методы ее детекции: возможности «Comet Assay» – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2010. – 58 с.
5. Томілін Ю. А., Григор'єва Л. І. Радіонукліди у водних екосистемах південного регіону України : міграція, розподіл, накопичення, дозове навантаження на людину і контрзаходи: Монографія. – Миколаїв, 2008. – 320 с.

Рецензенти: **Кутлахмедов Ю. О.**, д.б.н., професор Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України (м. Київ);
Петрук В. Г., д.х.н., професор Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця).

© Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А.,
Мельнов С. Б., Крапівіна Н. С., 2013

Дата надходження статті до редколегії 8.04.2013 р.

ГРИГОР'ЄВА Людмила Іванівна – д.б.н., проф., зав. кафедри біології та екологічної безпеки ЧДУ імені Петра Могили, заст. директора Наукового Інституту радіаційної та техногенно-екологічної безпеки ЧДУ імені Петра Могили.

Коло наукових інтересів: радіаційна гігієна і дозиметрія, оцінка еколого-техногенного та радіаційного ризику, біологічні методи очищення екосистем.

ТОМІЛІН Юрій Андрійович – д.б.н., проф., директор Наукового Інституту радіаційної та техногенно-екологічної безпеки ЧДУ імені Петра Могили, проф. кафедри біології та екологічної безпеки ЧДУ імені Петра Могили.

Коло наукових інтересів: екологічна та радіаційна безпека техногенно-навантажених територій, біологічні методи очищення екосистем, автоматизовані системи радіаційного контролю.

МЕЛЬНОВ Сергій Борисович – д.б.н., проф., проректор з наукової роботи УО «Поліський державний університет», м. Мінськ, Беларусь.

Коло наукових інтересів: радіаційна біологія, екологія, біологічна дозиметрія.

КРАПІВІНА Надія Сергіївна – викладач УО «Міжнародний державний екологічний університет імені А. Д. Сахарова», м. Мінськ, Беларусь.

Коло наукових інтересів: радіаційна біологія, екологія, біологічна дозиметрія.