

шать данный показатель для зоны отселения в весенне-осенний период.

Случайная компонента связана с различными природными и антропогенными аномалиями (лесные пожары, ураганы и др.). Одним из важнейших проявлений случайной компоненты является перенос радиоактивных частиц с дымом лесных пожаров. Особенно это заметно на территориях с высокой плотностью радиоактивного загрязнения почвы. В те годы, которые были отмечены многочисленными лесными пожарами на исследуемых территориях, их влияние на радиоактивное загрязнение приземного воздуха было настолько велико, что привело к повышению значений среднегодовых концентраций (1992, 2002 гг.). Известно, что при пожаре выброс продуктов горения достигает высоты 2–3 км, при этом в струю вовлекаются радиоактивные частицы с подстилающей поверхности почвы и участвуют в дальнем воздушном переносе, что приводит к расширению масштабов пространственного загрязнения атмосферы. Из этого можно сделать вывод, что дым лесных пожаров является возможным трансграничным переносчиком трансурановых радионуклидов при горении загрязненных ими лесных горючих материалов, а также источником вторичного загрязнения территории сопредельных государств.

#### **Выводы**

➤ С течением времени происходит постепенное самоочищение приземного воздуха от изотопов плутония, исключение составляют те годы, в которых имели место различные атмосферные аномалии.

➤ В течение года наблюдаются циклические изменения содержания изотопов плутония в приземном воздухе со значительным повышением в весенне-осенний период, что связано как с освобождением поверхности почвы от снега весной и растительности

осенью, так и с интенсивной сельскохозяйственной деятельностью в районах, прилегающих к зоне отселения.

➤ Лесные пожары и другие атмосферные аномалии приводят к увеличению содержания радионуклидов в приземном воздухе, что ведет к возрастанию значений среднегодовых концентраций.

#### **Заключение**

Экспериментальные данные по динамике радиоактивного загрязнения воздуха на территории Республики Беларусь является основой для математического моделирования процессов ресуспензии и ветрового переноса трансурановых радионуклидов и долгосрочного прогнозирования их содержания в приземном слое атмосферы, а также оценки доз ингаляционного и перорального поступления радионуклидов в организм человека и животных.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Аб прававым рэжыме тэрыторый, якія падвергліся радыеактыўнаму забруджанню ў выніку катастрофы на Чарнобыльскай АЭС: Закон Рэсп-п. Беларусь ад 12 ліст. 1991 г. // Ведамасці Вярхоўнага Савета Рэспублікі Беларусь. — 1991. — № 35. — С. 3–24.
2. Кудряшов, В. П. Загрязнение территории Республики Беларусь трансурановыми элементами в результате глобальных выпадений и катастрофы на Чернобыльской АЭС, включение их в трофические цепи и формирование дозовых нагрузок: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.01, 03.00.16. — Минск, 1998. — 180 с.
3. Миронов, В. П. Методическое пособие к лабораторным работам по радиохимии : учебное пособие / В. П. Миронов, В. П. Кудряшов. — Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2001. — 40 с.
4. Сельскохозяйственная радиэкология / под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. — М.: Экология, 1992. — 400 с.
5. Jakibic, A. J. Migration of Plutonium in Natural Soil // Transuranium Nuclides in the Environmental. — Vienna: IAEA, 1975. — P. 47–62.

*Поступила 20.02.2006*

### **УДК 614:7.330.131.7 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО РИСКА В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАННОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ФАКТОРАМИ НЕРАДИАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ**

**А.Ф. Маленченко, С.Н.Сушко**

**Институт радиобиологии Национальной Академии наук Беларуси, г. Гомель**

В статье дан критический анализ проблемы оценки экологического риска в условиях сочетанного действия ионизирующего излучения и факторов нерадиационной природы.

Проанализированы неопределенности оценки, обусловленные вариабельностью половых, возрастных, индивидуальных различий, величиной и мощностью дозы излучения. Высказана необходимость создания интегрального показателя экологического риска в условиях сочетанных воздействий радиационных и нерадиационных факторов.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, малые дозы, сочетанное действие, неопределенности оценки риска.

## THE UNCERTAINTIES OF THE RADIATION RISK EVALUATION IN THE CONDITIONS OF THE COMBINED IONIZING RADIATION EFFECT WITH THE NON-RADIATION NATURE FACTORS

A.F. Malenchenko, S.N. Sushko

Institute of Radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel

The critical analysis of the evaluation of ecological risk problem in the conditions of the combined ionizing radiation effect with the non-radiation nature factors is given in the article. The uncertainties of the evaluation, caused by the variability of the sex, age, individual distinctions and by the radiation dose and capacity were analysed. The necessity of the making of the ecological risk integral index in the combined effects of the radiation with the non-radiation nature factors was expressed.

Key words: ionizing radiation, small doses, combined effect, uncertainties of the radiation risk evaluation.

Констатация патогенетической связи между здоровьем населения и качеством среды обитания определяет важнейшую задачу экологической медицины: выявление ассоциативной связи между этими составляющими. Ее решение требует системного анализа деградационных изменений в окружающей среде, с одной стороны, и развития заболеваний, соотносимых к определенным загрязнителям, с другой. В связи с этим анализ медико-биологических последствий техногенной деятельности человека был сфокусирован на решении двух основных задач: оценке влияния техногенной деятельности человека на окружающую среду и происходящих в ней деградационных изменений и анализе влияния последствий этого процесса на здоровье людей и саму природу.

В этом аспекте экологический риск рассматривается в качестве интегрального показателя эколого-медицинской оценки состояния среды обитания и здоровья человека [1]. Как по первому, так и по второму направлению накоплен огромный фактический материал клинико-эпидемиологического, токсикологического, экспериментального характера. Он посвящен, главным образом, анализу зависимости между действием отдельных загрязнителей и обусловленными ими от-

рицательными последствиями. На территориях, пострадавших после аварии на ЧАЭС, большинство из них соотносят с радиационным действием. Ионизирующее излучение является планетарным фактором жизни и неотъемлемой частью биосферы. На Земле происходят два разнонаправленных процесса: медленное снижение радиоактивности Земли за счет распада природных радионуклидов и формирование преимущественно локальных очагов повышенного радиоактивного фона за счет выпадений при испытаниях атомного оружия, аварий на предприятиях ядерного топливного цикла, сбросов и выбросов радиоактивных отходов, что приводит к повышению удельной радиоактивности живого вещества планеты. Формируются зоны, в которых процессы эволюции, мутагенеза, жизнедеятельности организмов резко изменяются. Организмы, обитающие на этих территориях, подвергаются постоянному воздействию качественно изменяющегося и прогрессивно возрастающего со временем антропогенного давления разнообразных загрязнителей.

Однако до настоящего времени несмотря на определенные успехи не решены кардинальные вопросы единого методического подхода оценки последствий много-

факторного воздействия на организмы различных загрязнителей, отличающихся по механизмам индукции патологических процессов (действующие факторы физической, химической, биологической природы), времени воздействия и длительности наблюдения после окончания воздействия, формой манифестации патологического процесса и др. Положение усугубляется еще тем, что в последние годы получен ряд новых, принципиально важных данных, касающихся корректности использования существующих моделей оценки радиационного риска в реальных условиях, когда на организм, помимо радиации, действует множество факторов нерадиационной природы естественного и антропогенного происхождения. Биологические последствия, рассматриваемые как результат облучения, могут широко варьировать не только в силу модифицирующего действия излучения, но и быть обусловлены индивидуальными особенностями облучаемого индивидуума, такими как пол, возраст, наличие соматических заболеваний, времени облучения, фазы биоритма организма, индивидуальной радиочувствительностью и другими факторами. Так, индивидуальная радиочувствительность может оказывать существенное влияние на развитие пострадиационных изменений даже при облучении в равных дозах. В конечном итоге при сочетанном действии излучения с другими агентами биологические последствия могут проявляться суммацией эффектов каждого из действующих агентов, эффектом синергизма или антагонизма. В случае оценки биологических последствий, основанной на монофакторной зависимости «действующий агент-эффект», в реальных условиях получаемые коэффициенты риска могут содержать значительные неопределенности. Население Беларуси, пострадавшее при аварии на ЧАЭС и проживающее на радиационно-загрязненных территориях, представляет группу повышенного риска развития стохастических и генетических эффектов, которые обычно соотносят с действием облучения. Анализ радиобиологических последствий исходя из заключений об элиминированной линейной зависимости «доза-эффект» и инкриминации регистрируемых эффектов только облучению может преуменьшить или преувеличить фактическую величину радиационного риска. Эта

ситуация порождает ряд проблем биологического, эпидемиологического, статистического характера в силу многоэтапности, полиэтиологичности многих болезненных проявлений и сложности дифференцирования и соотнесения их к конкретному фактору, особенно при изучении онкогенеза.

При анализе патогенетической связи между облучением и развитием опухолей наибольшую неопределенность привносит отсутствие критериев, позволяющих достоверно отличить радиационно-индуцированную опухоль от опухолей, обусловленных влиянием других канцерогенов. Ионизирующее излучение индуцирует злокачественные опухоли практически во всех органах и тканях, но с разной частотой, что требует дифференцированного подхода к анализу зависимости «доза-эффект» для разных клеточных структур. В равной степени это относится и к уровню целого организма. Риск предполагает развитие какого-то количества опухолей, но не конкретизирует, у кого из облученных субъектов разовьется опухоль. Но даже в этом случае нельзя однозначно утверждать, что она — следствие облучения. Полагают, что около 1% злокачественных новообразований обусловлено природным радиоактивным фоном. Увеличение фона приводит к приросту заболеваемости и увеличивает масштабы роста генетического груза. Если с риском за счет природного фона приходится мириться, то остается неясным, какой уровень техногенно повышенного риска может быть приемлемым. Поэтому при оценке риска часто встречаются такие категории, как неопределенности, предположения, допущения, вероятность. На протяжении длительного латентного периода между действием канцерогена и манифестацией опухоли, порою исчисляемого десятилетиями, на организм действует комплекс разнообразных загрязнителей, многие из которых обладают свойствами промоторов. Клетки, содержащие повреждения, совместимые с жизнью, продолжают делиться, формируя новый клеточный клон, который во многом определяет развитие отдаленных последствий. Это отражается на корректности статистических заключений в отдаленный период при формировании адекватных групп сравнения. Если риск развития рака в каком-либо одном органе может быть корректно оценен при

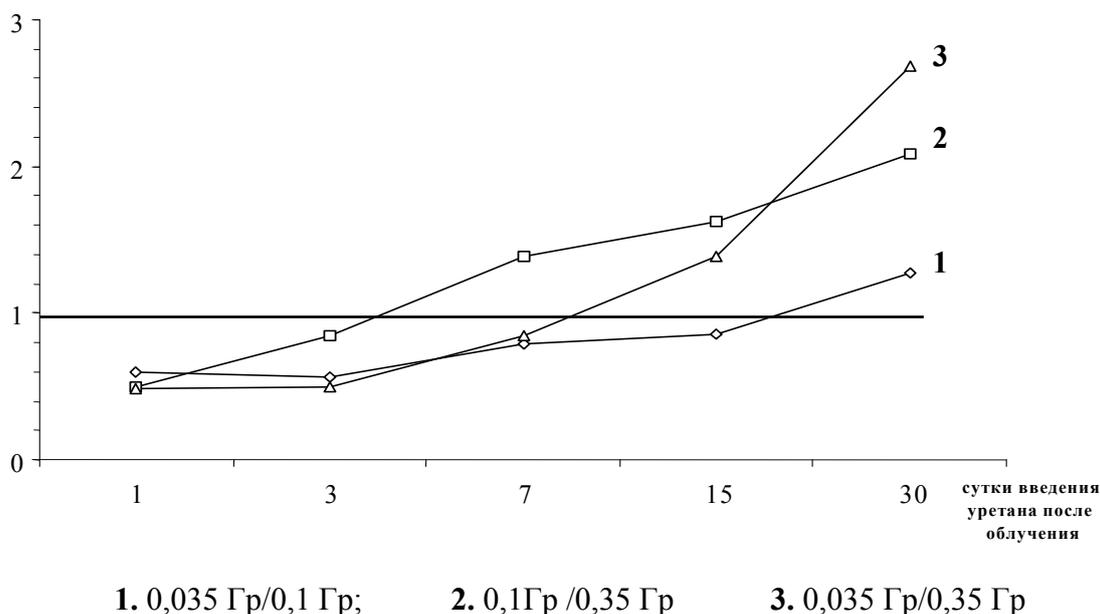
дозе облучения на орган порядка 1,0 Зв в группе 100 человек, то потребуется не менее одного миллиона индивидуумов чтобы оценить с аналогичной точностью риск развития рака при облучении в дозе 10,0 мЗв.

В последние годы получен ряд новых данных, касающихся биологических особенностей действия малых доз и связанных с этим эффектом представлениями о нестабильности генома, индукции скрытых повреждений, модифицирующем действии облучения, эффекте свидетеля и др. [2, 3]. Эффект малых доз (как и малых мощностей доз) проявляется в относительно узком интервале дозовых зависимостей — от нескольких десятых долей до нескольких десятков сГр. По определению МКРЗ к малым дозам относятся дозы менее 20 сГр и мощности дозы менее 1,5 мГр/мин [4].

Сравнительный анализ вклада излучения, эффективности единицы дозы, длительности сохранения индуцированных облучением повреждений при облучении мышей в дозах 3,5 и 35,0 сГр и введении

уретана (на 30 сутки после облучения — период предполагаемого восстановления радиационных повреждений) позволил выявить некоторые особенности в формировании отдаленных последствий [5] (рис. 1).

Облучение индуцировало развитие аденом легких в этих группах с частотой 0,6 и 1,28 аденом/мышь соответственно. Введение уретана на 1 сутки после облучения повысило эти величины до 4,48 и 9,31 аденом/мышь. При введении уретана на 30 сутки после облучения соотношение изменилось в обратную сторону: частота аденом/мышь при облучении дозой 3,5 сГр составила 6,19, а 35 сГр — 2,31, то есть в 2,7 раза меньше. Это свидетельствует о том, что в геноме клеток организма, облученного в меньшей дозе, в отдаленный период сохранилось большее количество скрытых повреждений, манифестация которых обусловлена дополнительным воздействием экзогенного канцерогена. Полученные результаты позволяют в ином свете трактовать как эффект малых доз, так и эффективность единицы дозы.



**Рис. 1.** Отношение количества аденом/мышь (D) при различных дозах воздействия гамма-излучения и разных сроках введения уретана

Эта особенность в действии малых доз реализуется в реальных экологических условиях, формируя радиационную составляющую генетического груза, эпидемиологическое проявление которой может сопровождаться ростом соматической и генетической патологии при действии на организм веществ, обладающих свойством промотора [6].

Помимо латентного периода значительные неопределенности в оценку риска привносит вариабельность фонового уровня заболеваемости данной патологией, продолжительность жизни населения, адекватность подбора по уровням и спектру воздействующих факторов исследуемых когорт: пол, возраст, сопоставимость сравниваемых ко-

горт по условиям жизни, психоэмоциональному состоянию. Например, развитию рака молочной железы в максимальной степени подвержены молодые женщины. С возрастом эта чувствительность снижается вплоть до развития рефрактерности к облучению в постклимактерический период.

Человечество вступило в эпоху, когда все возрастающую роль в развитии заболеваний можно соотнести со стрессом. Показана достоверная зависимость между психоэмоциональным состоянием людей и возникновением таких заболеваний, как рак молочной железы, лейкозов, рака матки. Риск заболеть раком выше у людей, проявляющих признаки депрессии. Большая часть населения, проживающая на территориях, пострадавших при аварии на ЧАЭС, находится в состоянии психо-эмоционального стресса. Это, в свою очередь, может также оказать существенное влияние на структуру и клинические особенности течения болезней.

Индивидуальная радиочувствительность лежит в основе того, что одна и та же доза может проявиться в разной степени у разных лиц: безопасные уровни облучения для одних могут быть недостаточно безопасными для других людей и представителей экосистемы. Индивидуальная вариабельность проявляется в виде сигмоидальной кривой «доза-эффект», и используемые критерии летальной или меньшей дозы за определенный промежуток времени относятся к усредненному абстрактному индивидууму, а не находящемуся в определенной части выборки. Повышенной радиочувствительностью характеризуются лица с различными заболеваниями, такими как пигментная ксеродерма, трисомия, синдром Дауна, анемии Фанкони и др. [7]. В условиях повышенного фона в популяции может формироваться когорта с большей устойчивостью к облучению по сравнению с остальной частью населения. Повышенной чувствительностью к облучению характеризуются больные железodefицитной анемией: процессы окисления гемоглобина нитритом натрия в радиационном поле у них протекают значительно быстрее по сравнению со здоровыми донорами.

Основополагающей дозиметрической единицей в радиационной безопасности является поглощенная доза, усредненная по органу или ткани и взвешенная по каче-

ству излучения, приходящаяся на единицу массы вещества. Она трактуется как средняя доза с допущением ее равномерного распределения по ткани. Этот принцип был положен в основу оценки радиационного риска рака щитовидной железы после аварии на ЧАЭС. Драматическое расхождение между прогнозируемой и реальной заболеваемостью раком щитовидной железы детей в постчернобыльский период показало некорректность сделанных оценок, которая может иметь место из-за недоучета интратиреоидного распределения радиоиода. Функциональная асинхронность фолликулярных структур определяет крайне неравномерное распределение поглощенной дозы по тиреоидной паренхиме с формированием в микроучастках поглощенных доз, на порядки превышающих значение, которое было заложено в модель оценки риска [8]. Аналогичная особенность была выявлена при изучении дозиметрических аспектов природного урана в щитовидной железе. Дозы облучения щитовидной железы природным ураном составляют порядка  $1 \times 10^{-7}$  Гр/год. При изучении распределения урана по тиреоидной ткани с использованием метода твердотельных трековых детекторов были выявлены участки скопления альфа-излучающих и делящихся радионуклидов, дозы облучения в которых на 2–3 порядка выше принятой при анализе зависимости «доза-эффект» для урана [9].

Реализация радиационных повреждений при действии излучения, а также в сочетании его с факторами нерадиационной природы зависит не только от дозы, но и ее распределения во времени — мощности дозы. Коэффициент эффективности дозы и мощности дозы является важным фактором в анализе риска канцерогенеза [10]. Его значение может изменяться в пределах 2–20 по критерию выхода различных опухолей, что обусловило значительные различия зависимости «доза-эффект» по выходу опухолей. Влияние мощности дозы, ее фракционирования на опухолеобразование в легких при облучении в равных дозах (35,0 сГр) и действии уретана показало, что эти факторы оказывают значительное влияние на выход опухолей. Общее однократное облучение привело к статистически достоверному повышению выхода аденом легких у мышей (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние фракционирования и мощности дозы на индукцию аденом легких у мышей при раздельном и сочетанном действии гамма-излучения в дозе 0,35 Гр и уретана**

Вид воздействия	Общее однократное облучение. Мощность дозы 1,0 Гр/ч			Фракционированное облучение. Мощность дозы 1,0 Гр/ч (0,07 Гр×5 дн.)			Фракционированное облучение. Мощность дозы 0,008 Гр/ч (0,0389 Гр×9 дн.)		
	число аденом/мышь	сравниваемые группы	К (в)	число аденом/мышь	сравниваемые группы	К (в)	число аденом/мышь	сравниваемые группы	К (в)
1. Контроль	0,56±0,13	—	—	0,31±0,09	—	—	0,78±0,15	—	—
2. Уретан	4,77±0,58	(1-2)*	—	2,42±0,31	(1-2)*	—	2,89±0,40	(1-2)*	—
3. Облучение	1,28±0,24	(1-3)*	—	0,37±0,02	—	—	1,12±0,18	—	—
4. Облучение + уретан	9,31±1,20	(2,3-4)*	1,77	13,05±3,58	(2,3-4)*	5,87	4,31±0,42	(2,3-4)*	1,44

Примечание: \* — разница статистически достоверна (P = 0,05).

Фракционирование дозы как с сохранением мощности дозы, так и ее снижением (1,0 Гр/ч и 0,0389 Гр/ч) снизило частоту опухолеобразования. По иному отразились фракционирование и снижение мощности дозы на опухолеобразование при сочетанном действии облучения и уретана: после однократного облучения и введении уретана выход опухолей увеличился в 16 раз по сравнению с контролем, при фракционированном облучении с той же мощностью дозы он возрос до 42, а уменьшение мощности дозы снизило этот показатель до 5.

Экспериментальные материалы позволяют считать [10, 11], что при воздействии излучения с низкой ЛПЭ (ОБЭ) снижение мощности дозы сопровождается значительным уменьшением канцерогенной активности излучения по сравнению с однократным облучением с высокой мощностью дозы. При облучении нейтронами в аналогичных условиях частота опухолей возрастает при снижении мощности дозы. По каждому из этих аспектов проводятся широкие исследования, которые в большинстве случаев носят разрозненный характер, а результаты в силу различных использованных методов, уровней воздействия значительно разнятся между собой. Экспериментально можно получить неограниченное количество данных о мутагенных или канцерогенных эффектах малых дозовых воздействий того или иного загрязнителя, но рассчитать реальный риск от него в комплексе действующих на организм загрязнителей удастся

далеко не всегда. Важным фактором является возможное взаимодействие загрязнителей между собой с образованием новых веществ (например, нитрозосоединений из нитритов и аминов), синтез которых увеличивается при действии малых доз излучения [12], а также корректность дозиметрических оценок внешнего и внутреннего облучения.

Сложности в оценке риска особенно возросли после получения новых экспериментальных данных о биологических особенностях действия малых доз излучения. Это определяет необходимость разработки интегрального показателя экологического риска, который базировался бы и включал в себя не только закономерности формирования биологических эффектов монофакторного взаимодействия, но исходил бы из факта множественности и одновременности воздействия на организм различных загрязнителей, учитывал бы процессы модифицирующего действия излучения, реактивности организма при действии на него поражающих агентов, состояния репарационных систем и др.

Рассматривая проблему оценки радиационного риска при действии малых доз облучения, нельзя не коснуться вопроса о гормезисе [13]. Имеется значительный экспериментальный материал, свидетельствующий о том, что ионизирующее излучение в малых дозах может быть полезным и действовать как стимулятор многих биологических процессов, хотя вопрос о полезности этого действия во многих случаях остается спорным.

Доминирующая среди радиобиологов точка зрения о патогенности ионизирующего излучения объясняется крайне скудным объемом исследований по этому направлению. МКРЗ, принимая во внимание современный уровень знаний по этому вопросу, не принимает его во внимание при оценке радиационного риска.

Разработка физиологической модели оценки экологического риска в условиях сочетанного действия на организм комплекса радиационных, химических, биологических факторов требует значительных научных усилий в силу сложности задач, стоящих на пути ее решения, обусловленных различием в механизмах развития патологических процессов, различной степенью выраженности зависимости «доза-эффект» у разных представителей животного мира, удельным вкладом каждого загрязнителя в анализируемый эффект. Это имеет принципиальное значение при определении приоритетности вложения материальных средств, направляемых на снижение отрицательных последствий. Сужение оценки риска до монофакторной зависимости «действующий агент (облучение)-эффект» и стремление соотнести к радиационному фактору регистрируемые изменения объясняется, в первую очередь, технической выполнимостью расчетов с получением некоторых цифровых значений, которые можно рассматривать в качестве «хороших» или «плохих». Однако попытки экстраполировать полученные значения в реальные экологические условия зачастую оказываются несостоятельными. По мнению [14], в настоящее время оценка риска при действии малых доз (менее 10 сГр) не может быть выполнена с достаточной точностью при использовании существующих моделей (методов) из-за наличия большого количества неопределенностей и модифицирующих факторов экологического, диетического характера, а также индивидуальных особенностей организма. Это наиболее полно нашло отражение в заключении НКДАР: «Современные знания не позволяют с какой-либо точностью оценить возможные последствия воздействия на человека малых радиационных уровней. Многие эффекты облучения отсрочены, часто они неотличимы от эффектов других агентов, многие будут развиваться только при превышении пороговой дозы; некоторые могут быть кумулятивными в отличие от других. Эти факторы создают очень большие трудности в

накоплении надежной информации о корреляции между малыми дозами и их эффектами как среди отдельных лиц, так и в многочисленных популяциях. Только дальнейшие интенсивные исследования помогут установить истинное положение» [15].

Таким образом, сложности и неопределенности оценки риска, формирующиеся представлением о множественной химической чувствительности [16, 17] диктуют необходимость разработки единого общественно значимого критерия вредности, показателя здоровья, мутагенности и канцерогенности факторов окружающей среды, в основе которого лежали бы биологические принципы реактивности организма, эффективности функционирования репарационных систем, адаптации и динамики восстановления гомеостаза и представлении риска в виде единого интегрального показателя патогенности среды обитания человека и других живых существ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маленченко, А. Ф. Биологические проблемы радиационного риска / А. Ф. Маленченко, Ю. С. Панитков // Вес. Нац. Акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-энерг. навук. — 1991. — № 3. — С. 15–26.
2. Бурлакова, Е. Б. Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов / Е. Б. Бурлакова [и др.] // Хим. физика. — 2003. — Т. 22, № 2. — С. 21–40.
3. Эйдус, Л. Х. О проблеме экстраполяции дозовой зависимости цитогенетических повреждений от больших доз к малым / Л. Х. Эйдус // Рад. биология. Радиоэкология. — 1999. — Т. 39, № 1. — С. 177–180.
4. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 / Публикация № 60. — М.: Энергоатомиздат. — 1994. — Ч. 2. — 207 с.
5. Маленченко, А. Ф. Опухолообразование при сочетанном действии малых доз ионизирующего излучения и химического канцерогена / А. Ф. Маленченко, С. Н. Сушко // Вес. Нац. Акад. навук Беларусі. Сер. біялаг. навук. — 2002. — № 3. — С. 77–81.
6. Конопля, Е. Ф. Радиобиология. Энциклопедический словарь / Е. Ф. Конопля [и др.]. — Гомель, 2005. — 245 с.
7. Поспишил, М. Индивидуальная радиочувствительность / М. Поспишил, И. Ваха. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 108 с.
8. Маленченко, А. Ф. Роль экологических факторов в патогенезе рака щитовидной железы в регионах Беларуси, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС / А. Ф. Маленченко // Рад. биология. Радиоэкология. — 1997. — Т. 37. — Вып. 6. — С. 882–889.

9. Москалев, Ю. И. Отдаленные последствия ионизирующих излучений / Ю. И. Москалев. — М. : Медицина, 1991. — 463 с.
10. Москалев, Ю. И. Метаболизм и биологическое действие радионуклидов при оральном поступлении в организм / Ю. И. Москалев. — М., 1989. — С. 190–218.
11. Ярмоненко, С. П. Радиобиология человека и животных / С. П. Ярмоненко, А. А. Вайнсон. — М. : Высшая школа. — 2004. — 549 с.
12. Святченко, В. В. Влияние ионизирующего излучения на образование нитрозоаминов из антропогенных предшественников (нитритов, аминов) в модельных водных растворах: дис. ...к-та биол. наук: 03.00.01 / В. В. Святченко. — Минск, 1990. — 134 с.
13. Кузин, А. М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. — М. : Атомиздат. — 1977. — 132 с.
14. Prasad, K. N. Health risks of low dose ionizing radiation in humans: a review / K. N. Prasad [et al.] // J. Exp. Biol. Med. — 2004. — Vol. 229. — P. 378–382.
15. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты: в 2 т. / Научный комитет ООН по действию атомной радиации. Доклад Генеральной Ассамблеи. — 1982. — Т. 2. — 780 с.
16. Ушаков, И. Б. Рискометрия в медико-биологических исследованиях / И. Б. Ушаков [и др.]. // Гиг. и санитария. — 2002. — № 1. — С. 16–18.
17. Голденков, В. А. Феномен множественной химической чувствительности как следствие воздействия сверхмалых доз веществ / В. А. Голденков [и др.]. // Рос. хим. журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). — 2002. — Т. Е. XLVI. — № 6. — С. 39–45.

Поступила 08.09.2006

УДК 504.5.539:539.16.04(476)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОЛОКА ЧАСТНОГО И ОБЩЕСТВЕННОГО СЕКТОРА ГОМЕЛЬСКОЙ, БРЕСТСКОЙ И МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

Т.В. Сухорукова, О.В. Чаецкая

Институт радиологии, г. Гомель

Снижение дозовой нагрузки на население, проживающее на загрязненных в результате Чернобыльской катастрофы территориях, остается важной задачей реабилитации. Наибольший эффект снижения дозы могут дать меры, направленные на снижение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в молоке коров частного и общественного сектора. Электронные карты позволяют представить информацию в легко воспринимаемой форме, а также значительно ускорить процесс исследования и обеспечить формирование оптимальных решений из многообразия возможных вариантов.

**Ключевые слова:** реабилитация, загрязненные районы, уровень загрязнения, плотность загрязнения, удельная активность, индивидуальная годовая доза, вероятность превышения, контрмеры, электронная карта, радиационный контроль.

## APPLICATION OF ELECTRONIC MAPS TO PROGNOSE MILK CONTAMINATION IN PRIVATE AND PUBLIC SECTOR OF GOMEL, BREST AND MOGILYOV REGIONS

T.V. Sukhorukova, O.V. Chayetskaya

Research Institute of Radiology, Gomel

Reduction of doze burdens on the population which live in territories contaminated as a result of Chernobyl accident remains the important task of rehabilitation. Measures aimed to decrease  $^{137}\text{Cs}$  specific activity in cow milk in private and public sector can have a bigger effect to reduce the dozes. Electronic maps allow to present the information in an easily perceived form, and also to considerably speed up the process of research and to provide optimal solutions from a variety of possible measures.

**Key words:** rehabilitation, contaminated region, level of contamination, deposition levels, specific activity, individual annual doze, probability, countermeasure, electronic map, radiation control.