

Отдаленные радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС для населения Калужской области: солидные раки

Дрынова Н.Н., Власов О.К., Щукина Н.В., Иванов В.К.

Учреждение Российской академии медицинских наук Медицинский радиологический научный центр РАМН, Обнинск

В работе дан прогноз радиационно обусловленной индукции солидных раков для населения Калужской области по модели Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НҚДАР ООН). Установлено, что прирост частоты всех солидных раков может составлять до 1 %. Эти данные хорошо согласуются с фактическими данными Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР). Показано, что прирост частоты рака молочной железы у молодых женщин может составить до 4 % за счет радиационного воздействия.

Ключевые слова: *атрибутивный риск, солидные раки, население Калужской области.*

В настоящее время Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НҚДАР ООН) завершает многолетнюю работу по оценке отдаленных радиологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В ряде крупномасштабных эпидемиологических исследований было убедительно показано возрастание частоты заболеваемости раком щитовидной железы среди детского населения, подвергшегося радиационному воздействию [7]. Вместе с тем, проведенный радиационно-эпидемиологический анализ, как отмечает НҚДАР ООН, не показал прироста заболеваемости всеми другими солидными раками. Этому есть ряд объяснений. Во-первых, дозы облучения населения Калужской области, которая подверглась радиационному воздействию, многократно ниже доз облучения жителей городов Хиросима и Нагасаки, которые в 1945 г. подверглись атомной бомбардировке. Во-вторых, латентный период возможной индукции солидных раков составляет, как известно, 10 лет. Поэтому, период наблюдения еще недостаточно велик для получения окончательных эпидемиологических выводов.

Учитывая важность решения практических задач региональными органами здравоохранения по минимизации отдаленных радиологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС, в настоящей работе даны прогнозные оценки возможной индукции солидных раков для населения Калужской области на основе базовой модели НҚДАР ООН и реальных фактических данных облучаемости населения.

1. Модель радиационных рисков НҚДАР ООН

При оценке радиационных рисков лиц, подвергшихся облучению, НҚДАР ООН рекомендует применять модель UNSCEAR-94 [9]. Поскольку в зависимости от локализации заболевания эта модель использует различные формы представления связи доза-риск, имеет смысл кратко остановиться на формах представления радиационных рисков. Пусть ожидаемое количество

Дрынова Н.Н. — аспирант; Власов О.К. — зав. лабораторией, д.т.н.; Щукина Н.В. — научный сотрудник; Иванов В.К.* — Первый зам. Председателя РНКРЗ, зам. директора по научной работе, член-корреспондент РАМН. МРНЦ РАМН.

* Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Королева, 4. Тел.: (495) 956-94-12, (48439) 9-33-90; e-mail: nrer@obninsk.com.

заболеваний есть m_0 , а наблюдаемое количество заболеваний – m . Тогда наблюдаемое количество заболеваний можно выразить через ожидаемое в аддитивной форме:

$$m = m_0 + EAR, \quad (1)$$

где EAR – превышение количества наблюдаемых случаев заболеваний над ожидаемым, вызванное облучением. Взаимосвязь m и m_0 может быть выражена и через относительное превышение числа заболеваний ERR или в мультипликативной форме:

$$m = m_0(1 + ERR). \quad (2)$$

Так, в модели UNSCEAR-94 аддитивная форма используется для описания заболеваемости лейкозами, а мультипликативная – для заболеваемости солидными раками. Выбор формы модели определяется исходя из условия ее наибольшего соответствия фактическим данным. В общем случае избыточные риски EAR и ERR зависят от дозы облучения, возраста при облучении, текущего возраста и пола.

Из (1) и (2) следует, что:

$$EAR = m - m_0, \quad (3)$$

$$ERR = (m - m_0)/m_0. \quad (4)$$

Из (3) и (4) следует очевидная связь между величинами, характеризующими превышение естественного уровня заболеваемости:

$$EAR = m_0 \cdot ERR. \quad (5)$$

Согласно общепринятой терминологии, EAR – избыточный абсолютный риск (Excess Absolute Risk), ERR – избыточный относительный риск (Excess Relative Risk).

По данным для когорты LSS (когорты переживших атомную бомбардировку в городах Хиросима и Нагасаки) относительное превышение риска заболеваемости солидными раками ERR на 1 Зв в среднем по всей когорте составляет 0,63. В указанной работе для солидных раков также определена зависимость ERR не только от дозы облучения, но и от пола, возраста при облучении и локализации заболевания. Эта зависимость и легла в основу модели UNSCEAR-94. Согласно этой модели радиационно обусловленная заболеваемость солидными раками различной локализации при остром кратковременном облучении представляется в виде избыточного относительного риска ERR и имеет вид:

$$ERR(D, g, s, l) = a_{s,l} \cdot D \cdot \exp \{b_l \cdot (g - 25)\}, \quad (6)$$

где D – доза облучения в Зв, g – возраст на момент облучения, s – пол, l – локализация заболевания. Параметры риска a и b приведены в таблице 1 для различных локализаций заболеваний в зависимости от пола. Форма (6) представления связи облучения и заболеваемости в виде избыточного относительного риска (мультипликативная модель) весьма удобна, поскольку при расчете индивидуального значения ERR не используются показатели фоновой заболеваемости. Статистический анализ данных наблюдений когорты LSS показал, что облучение приводит к увеличению заболеваемости солидными раками только спустя примерно 5-15 лет после облучения. Это так называемый скрытый или латентный период. В UNSCEAR-94 для всех солидных раков латентный период принят равным 10 годам.

Таблица 1

Значения параметров избыточного радиационного риска *ERR* для солидных раков различной локализации в зависимости от пола

	Локализация	МКБ-10	Параметр <i>a</i> , Зв ⁻¹		Параметр <i>b</i> , год ⁻¹	Характерное время $\tau = b^{-1} $ год
			муж.	жен.		
1	Органы дыхания	C33, C34	0,37	1,06	0,021	47,6
2	Желудок	C16	0,16	0,62	-0,035	28,6
3	Мочевой пузырь	C67	1,00	1,19	0,012	83,3
4	Печень	C22	0,97	0,32	-0,027	37,0
5	Пищевод	C15	0,23	1,59	0,015	66,7
6	Ободочная кишка	C18	0,54	1,00	-0,033	30,3
7	Молочная железа	C50	-	1,95	-0,079	12,6
8	Остальные		0,59	0,39	-0,059	16,9
9	Все солидные раки	C00-C80	0,45	0,77	-0,026	38,5

Обратим внимание на существенную зависимость риска *ERR* от возраста при облучении *g* и пола *s*. Параметр *b* зависит от возраста на момент облучения и от локализации заболевания. Величина $|b^{-1}| = \tau$ есть характерное время, в течение которого эффективность воздействия облучения изменяется примерно в три раза. Так, избыточный относительный риск заболевания желудка при облучении в возрасте 20 лет примерно в три раза меньше, чем при облучении в 50-летнем возрасте ($\tau \approx 30$ лет). Риск заболевания органов дыхания и пищевода увеличивается с возрастом при облучении, для других локализаций – риск с возрастом при облучении падает. Забегая вперед, скажем, что при пролонгированном облучении этот факт имеет принципиальное значение: не накопленная индивидуумом доза, а возрастной режим облучения («дозо-временная матрица») определяет риск возникновения онкологического заболевания.

На рис. 1 представлены зависимости *ERR* от возраста при облучении для мужчин (а) и женщин (б), получивших однократную дозу облучения 1 Зв. Как видно из рисунка, избыточный относительный риск существенно зависит от возраста при облучении, пола и локализации заболевания. Согласно рис. 1, у мужчин наиболее высокие риски характерны для заболеваний мочевого пузыря, легких и печени. Наименьшие риски – для заболеваний желудка и пищевода. У женщин при облучении в возрасте до 40 лет высоки риски рака молочной железы. Следует отметить существенное различие в рисках у женщин и мужчин. По таким локализациям как легкие, желудок, пищевод и ободочная кишка риски у женщин в 2-8 раз выше, чем у мужчин. По всем солидным ракам риск у женщин почти в два раза выше, чем у мужчин.

Введем понятие атрибутивного (обусловленного) риска – *AR*. Если через *m*₀ обозначить ожидаемое (спонтанное) число онкозаболеваний, а через *m* – наблюдаемое (с учетом радиационного воздействия), то:

$$AR = (m - m_0)/m = EAR/m. \quad (7)$$

Или в терминах избыточного относительного риска:

$$AR = ERR/(1+ERR), \quad (8)$$

откуда следует, что атрибутивный риск *AR* < 1.

В случае исследования облученной когорты или популяции атрибутивный риск показывает, какая доля от всех случаев заболеваний в когорте обусловлена радиационным воздействием.

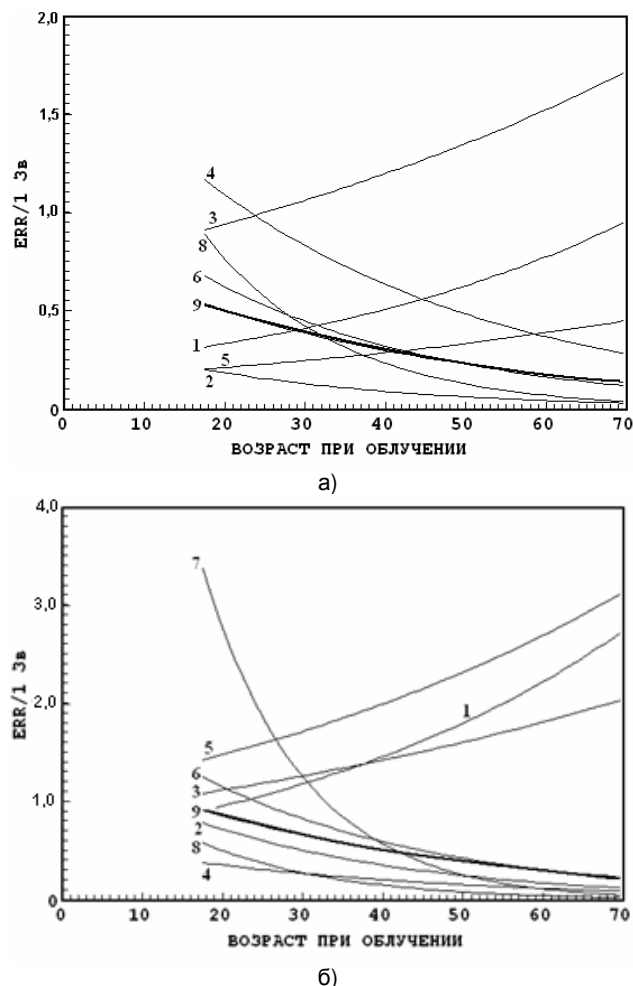


Рис. 1. Зависимость избыточного относительного риска (ERR) онкозаболеваний различной локализации от возраста при облучении дозой 1 Зв для мужчин (а) и женщин (б). Нумерация кривых согласно таблице 1. Жирной линией (9) показана зависимость для всех солидных раков.

2. Дозы облучения населения Калужской области

Специфика радиационно-эпидемиологических исследований, проводимых в Национальном радиационно-эпидемиологическом регистре (НРЭР), обуславливает использование дозиметрической информации о годовой динамике эффективных доз облучения населения за весьма протяженный период времени. Между тем, в каталогах [1, 5] приведены данные о дозах внешнего, внутреннего облучения и полных эффективных дозах облучения населения, проживающего в загрязненных областях на территории с плотностью выпадения ^{137}Cs более 37 кБк/м^2 , накопленных за первый год после аварии, по 1995 и по 2005 гг.

Для реконструкции динамики накопления эффективных доз облучения населения во всех населенных пунктах (НП) Калужской области нами была использована вычислительная схема, разработанная в работе [2].

2.1. Дозы внешнего облучения населения за 1986-2007 гг.

Дозы внешнего облучения за 1986-2007 гг. рассчитывали по методике [6] с использованием в качестве входных базы данных НРЭР о плотностях выпадения ^{137}Cs во всех 3340 НП Калужской области (рис. 2).

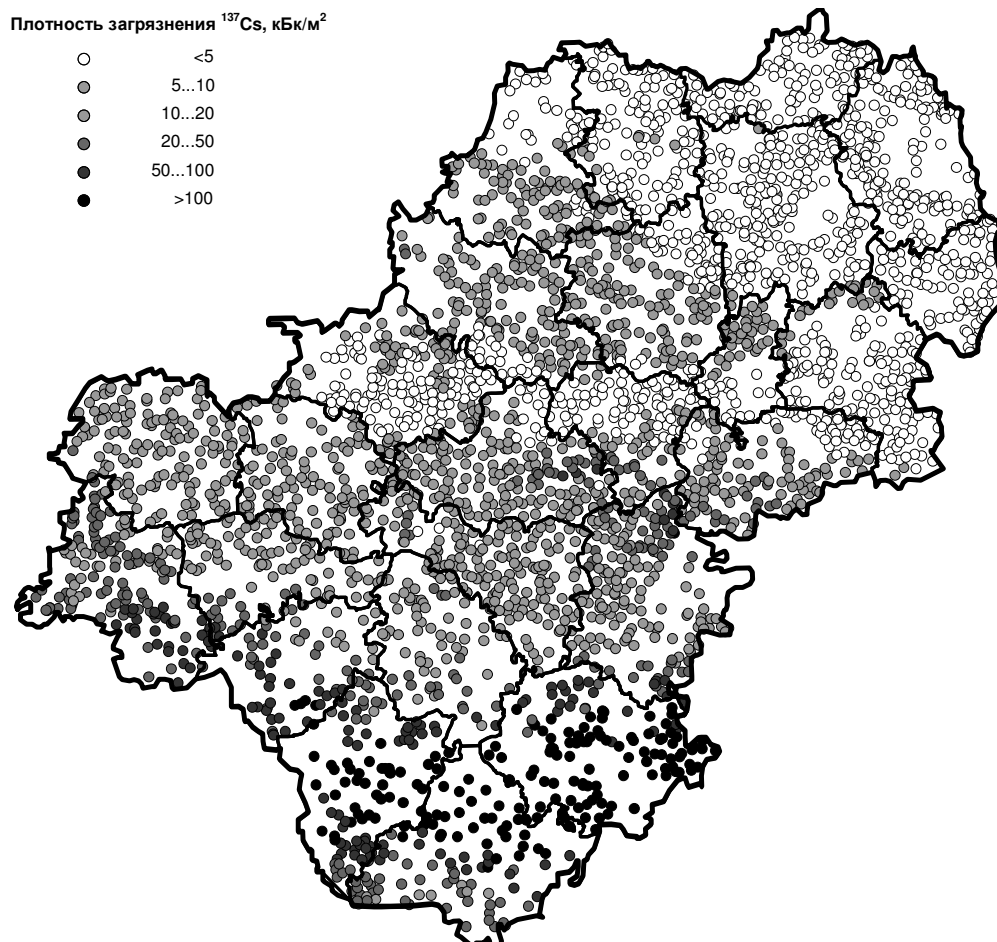


Рис. 2. Карта реконструированных плотностей загрязнения ^{137}Cs населенных пунктов Калужской области.

В работе [2] показано, что число НП из каталога [5] со значительными отклонениями расчетных величин доз от данных каталога невелико. Поэтому для доз внешнего облучения, рассчитанных по методике [6], никаких дополнительных корректировок не производилось.

2.2. Дозы внутреннего облучения населения

Реконструкцию динамики доз внутреннего облучения населения за 1987-2007 гг. проводили в соответствии с работой [2] по следующей схеме:

- с использованием методик [6] и базы данных НРЭР о плотностях выпадения ^{137}Cs и преобладающих типах почв по механическому составу в НП рассчитывали дозы внутреннего

облучения населения с 1987 по 2007 гг. (обусловленные в основном корневым загрязнением продуктов питания),

- для НП каждой области с одинаковыми типами почв по механическому составу анализировали зависимости отношений доз каталогов [1, 5] к расчетным дозам от плотности выпадения ^{137}Cs в НП,
- для НП с большими отличиями расчетных доз внутреннего облучения с 1987 по 2008 гг. от доз каталогов [1, 5] уточняли типы почв до тех пор, пока эти отличия не становились минимальными,
- после уточнения типов почв в НП рассчитывали уточненные дозы внутреннего облучения, накопленные с 1987 по 2008 гг. только за счет корневого загрязнения продуктов питания (мясо и молоко за счет корневого загрязнения корма сельскохозяйственных животных).

Результаты расчетов доз внутреннего облучения с 1987 по 2005 гг., полученные населением Калужской области, в сопоставлении с дозами каталога [5], приведены на рис. 3. Как следует из приведенного рисунка, корректировка типов почв в НП с существенными отличиями расчетных доз от доз каталога [5] привела к значительному улучшению их согласия.

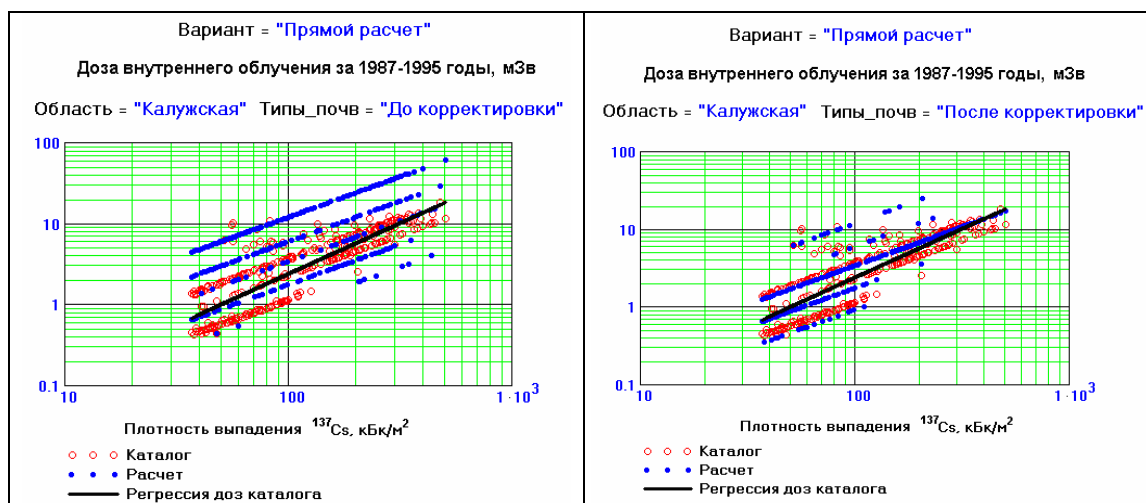


Рис. 3. Зависимости доз каталога [5] и расчетных доз внутреннего облучения населения с 1987 по 1995 гг. от плотности выпадения ^{137}Cs в населенных пунктах Калужской области до и после корректировки типов почв.

При реконструкции доз внутреннего облучения населения за первый год после аварии применяли агро-радиоэкологическую модель работы [4]. В качестве входных использовали следующие базы данных:

- плотности выпадения ^{137}Cs в НП (рис. 2),
- расчетные данные об относительном удельном загрязнении ^{137}Cs травы пастбищ на время окончания выпадений радиоактивных продуктов аварии на ЧАЭС во всех 25 районах Калужской области [4] (рис. 4).
- преобладающие типы почв в НП Калужской области [3] (рис. 5).

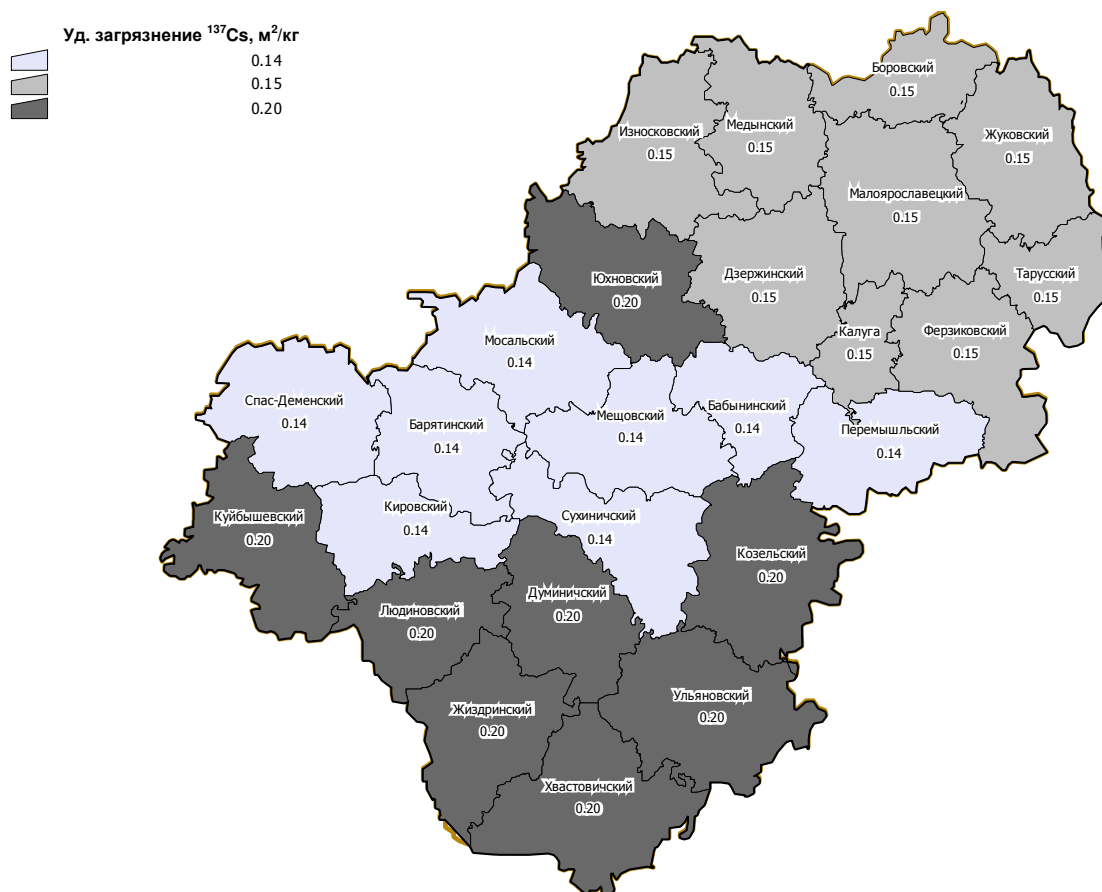


Рис. 4. Относительное удельное загрязнение ^{137}Cs травы пастбищ на время окончания выпадений радиоактивных продуктов аварии на ЧАЭС в районах Калужской области.

Реконструкцию динамики доз внутреннего облучения населения за этот период производили по схеме работы [2]:

- с учетом полученного уточнения типов почв в НП рассчитывали азральные и корневые составляющие доз внутреннего облучения первого года и их сумму: полную дозу внутреннего облучения, доли азральных и корневых составляющих дозы в полную дозу внутреннего облучения;
- для каждого конкретного НП в дозах каталога выделяли азральные и корневые составляющие части дозы в долях, полученных для расчетных доз;
- азральные и корневые составляющие части дозы первого года уточняли путем их нормировки на регрессионные зависимости отношений соответственно азральных и корневых составляющих частей доз каталога [5] первого года к аналогичным составляющим расчетных доз от плотности выпадения ^{137}Cs :

Типы почв Калужской области

- дерново-подзолистые-песчаные
- дерново-подзолистые-супесчаные
- дерново-подзолистые-легкосуглинистые
- дерново-подзолистые-среднесуглинистые
- дерново-подзолистые-тяжелосуглинистые, серые лесные
- болотные низменные

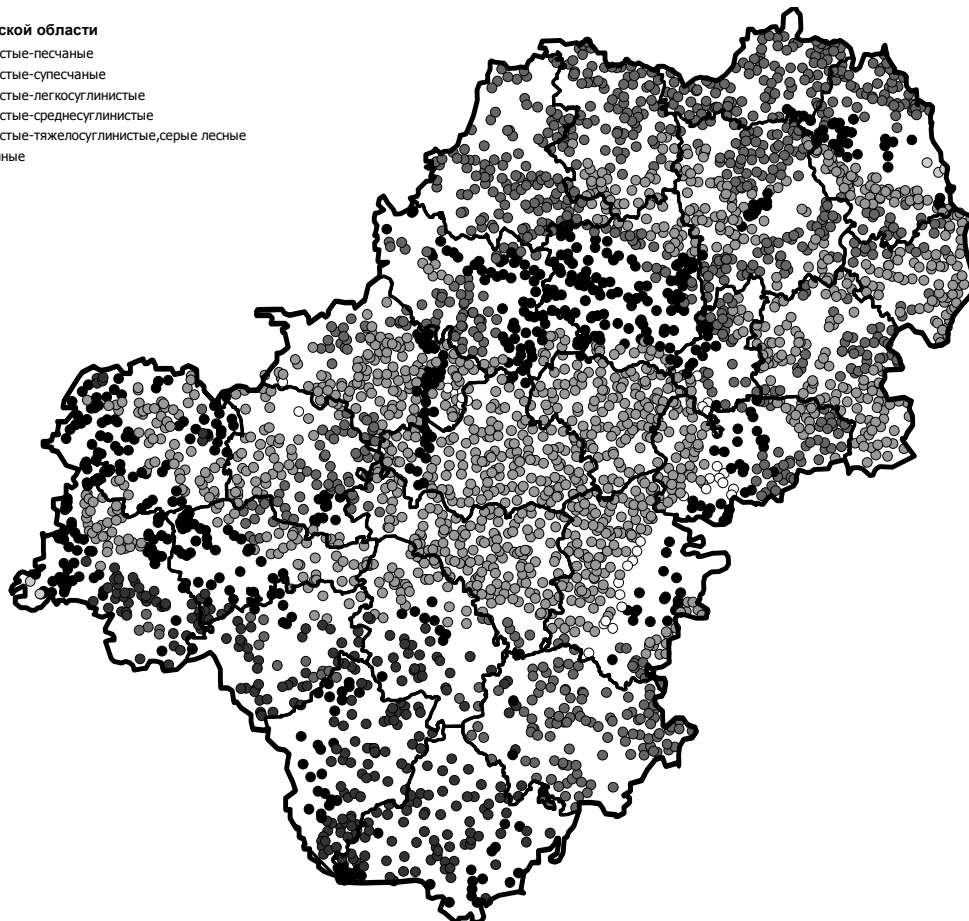


Рис. 5. Почвенная карта Калужской области.

$$D_{calc}^{cor}(x_{Cs}) = D_{calc}(x_{Cs}) \cdot \frac{D_{cat}^{regr}(x_{Cs})}{D_{calc}^{regr}(x_{Cs})}, \quad (9)$$

где D_{calc}^{cor} – скорректированные составляющие эффективных доз внутреннего облучения первого года, мЗв; x_{Cs} – плотность выпадения ^{137}Cs в НП, кБк/м²; D_{calc} – расчетные составляющие эффективных доз внутреннего облучения первого года, мЗв; $D_{cat}^{regr}(x_{Cs})$ – степенные регрессии для составляющих эффективных доз каталога внутреннего облучения первого года, мЗв; $D_{calc}^{regr}(x_{Cs})$ – степенные регрессии для расчетных составляющих эффективных доз внутреннего облучения первого года, мЗв;

- полные дозы внутреннего облучения с 1986 по 2008 гг. рассчитывали как сумму доз первого года с корневой составляющей дозы внутреннего облучения с 1987 по 2008 гг.

2.3. Результаты реконструкции эффективных доз облучения населения

Зависимости эффективных доз по данным каталогов [1, 5] и расчетных эффективных доз облучения населения от плотностей выпадения ^{137}Cs для всех 381 НП из перечня [1, 5] приведены на рис. 6.

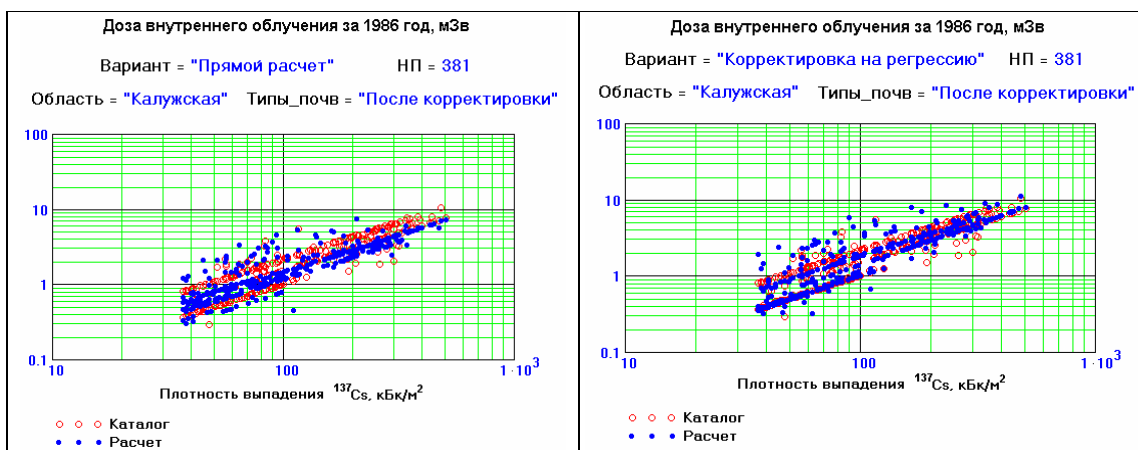


Рис. 6. Зависимости доз каталога [5] и расчетных доз внутреннего облучения населения Калужской области за первый год от плотностей выпадения ^{137}Cs в населенных пунктах.

Из данных о динамике накопления эффективных доз в НП Калужской области, нормированных на дозы, накопленные по 2008 г. (рис. 7), видно, что эффективная доза за первый год после аварии может составлять от 0,25 до 0,65. Столь существенный размах возникает из-за различий в динамике накопления доз внешнего и внутреннего облучения населения. Так, динамика накопления доз внешнего облучения населения, кроме изотопного состава и плотности радиоактивных выпадений, определяется только типом НП. В то же время, динамика накопления доз внутреннего облучения населения, кроме плотности радиоактивных выпадений $^{134,137}\text{Cs}$, зависит еще и от погодных условий весны-лета 1986 г. и типа почв сельскохозяйственных, продукция с которых входит в рацион местного населения. Сочетание этих параметров привело к тому, что наименьший вклад дозы внутреннего облучения населения в его полную эффективную дозу, накопленную по 2008 г., и равный 0,14-0,16, характерен для НП северных районов области с болотно-низинными почвами на кормовых сельскохозяйственных землях. Соответственно, наибольший вклад, равный 0,5-0,6, характерен для НП южных районов области с песчаными и супесчаными почвами на кормовых сельскохозяйственных землях. Для сильнозагрязненных районов размах значений этого вклада составляет: для Хвостовичского – 0,7-0,2; для Ульяновского – 0,17-0,25 и для Жиздринского – 0,17-0,5.

Карта эффективных доз облучения взрослого населения, накопленных по 2008 г., приведена на рис. 8.

Для расчетов рисков использовали средние по районам эффективные дозы облучения взрослого населения, взвешенные по его численности в населенных пунктах (рис. 9).

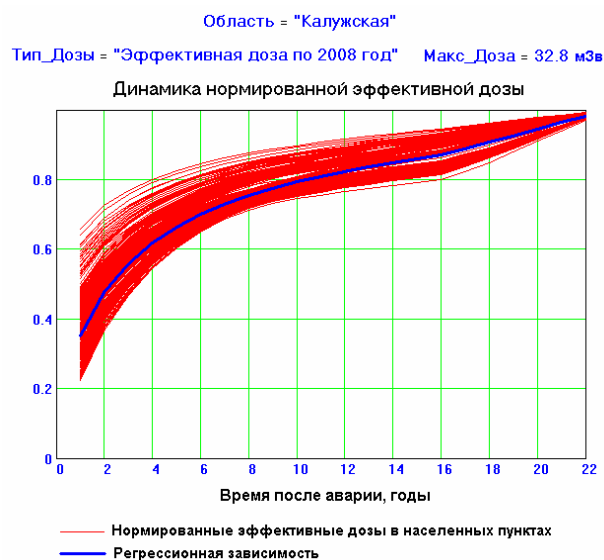


Рис. 7. Динамика накопления эффективных доз населения Калужской области, нормированных на дозу, накопленную по 2008 г.

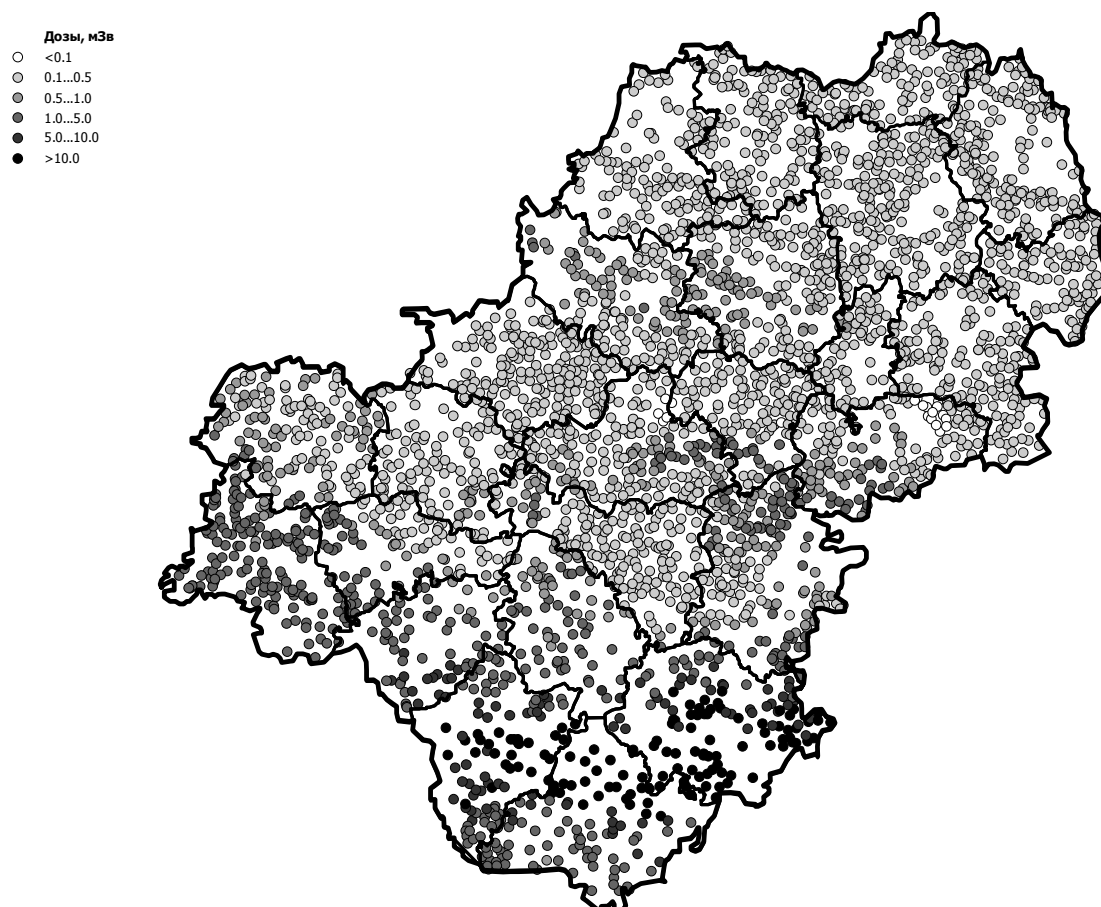


Рис. 8. Эффективные дозы облучения взрослого населения, накопленные по 2008 г., в населенных пунктах Калужской области.

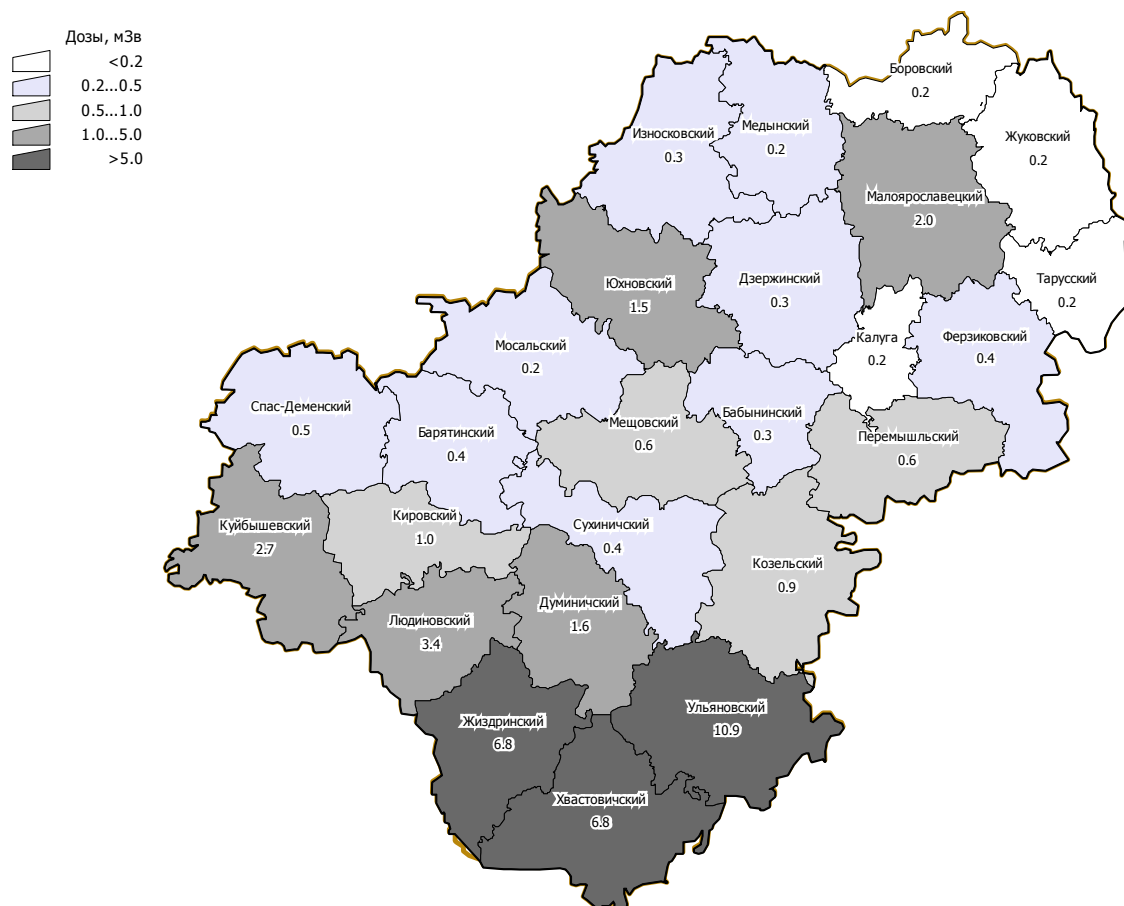


Рис. 9. Эффективные накопленные по 2008 г. дозы облучения взрослого на момент аварии населения, проживающего в Калужской области.

3. Оценка величины атрибутивного риска по солидным ракам

На рис. 10-14 приведены оценки величины избыточного относительного риска (ERR) и атрибутивного риска (AR) по солидным ракам различной локализации для 5 районов Калужской области, население которых в наибольшей степени подверглось радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Рассмотрены три возрастные на 2008 г. группы – 22 года, 40 лет и 60 лет. Как видно из этих рисунков, величина атрибутивного риска по всем солидным ракам не превышает 1 %. Это означает, что доля радиационно обусловленных солидных раков среди всех наблюдаемых солидных раков не превышает 1 %. Понятно, что в эпидемиологических исследованиях такой незначительный прирост солидных раков крайне сложно обнаружить физически. Вместе с тем, из данных рисунков также видно, что прирост радиационно обусловленных раков молочной железы у женщин в возрасте 22 года в 2008 г. в указанных районах может достигать 4 %. Этот результат имеет важное значение для органов практического здравоохранения при планировании оказания адресной медицинской помощи (рис. 15).

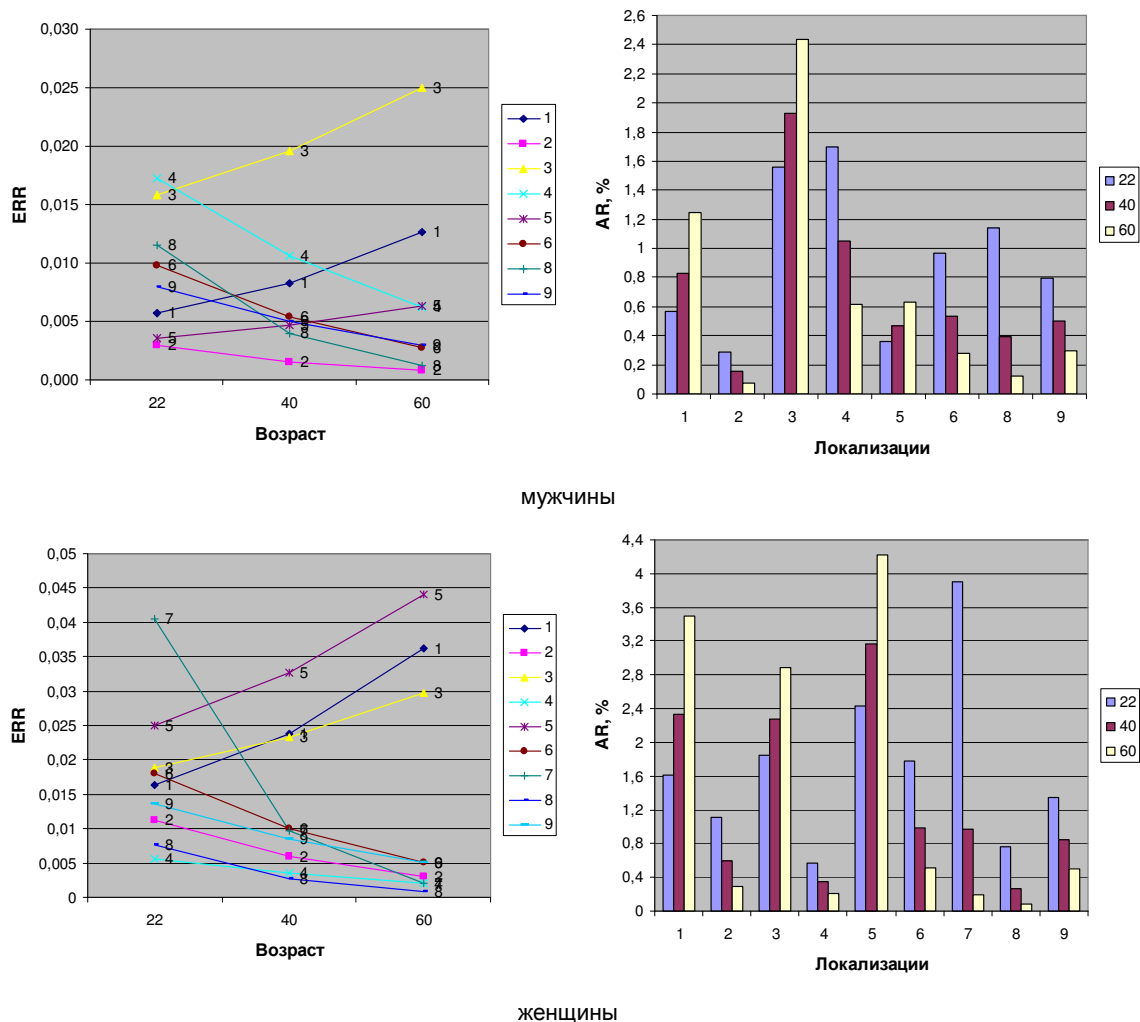


Рис. 10. Величина избыточного относительного риска (ERR) и атрибутивного риска (AR) для различных возрастных групп и локализаций солидных раков (Хвастовичский район).
1 – органы дыхания; 2 – желудок; 3 – мочевой пузырь; 4 – печень; 5 – пищевод;
6 – ободочная кишка; 7 – молочная железа; 8 – остальные; 9 – все солидные раки.

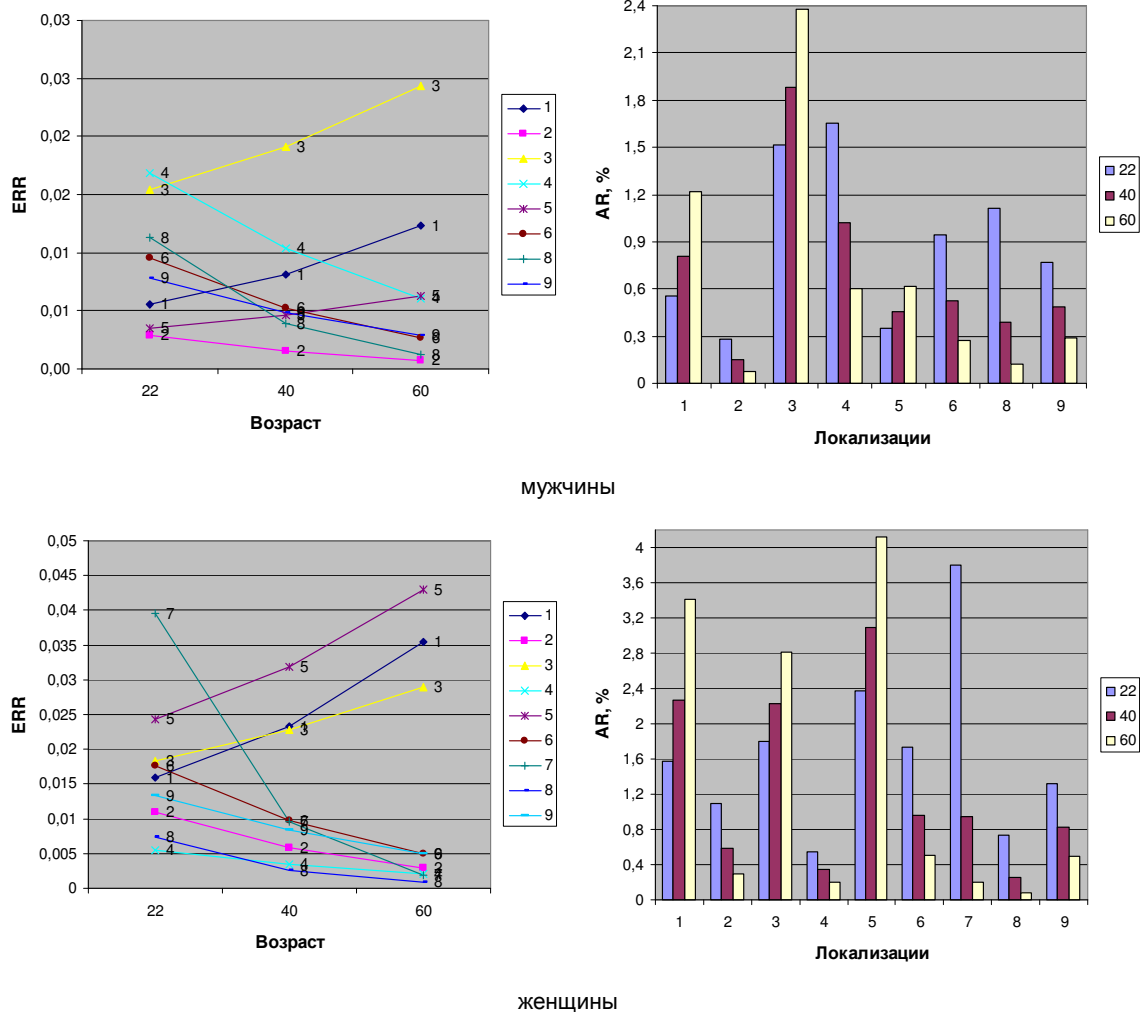


Рис. 11. Величина избыточного относительного риска (ERR) и атрибутивного риска (AR) для различных возрастных групп и локализаций солидных раков (Ульяновский район).
1 – органы дыхания; 2 – желудок; 3 – мочевого пузыря; 4 – печень; 5 – пищевод;
6 – ободочная кишка; 7 – молочная железа; 8 – остальные; 9 – все солидные раки.

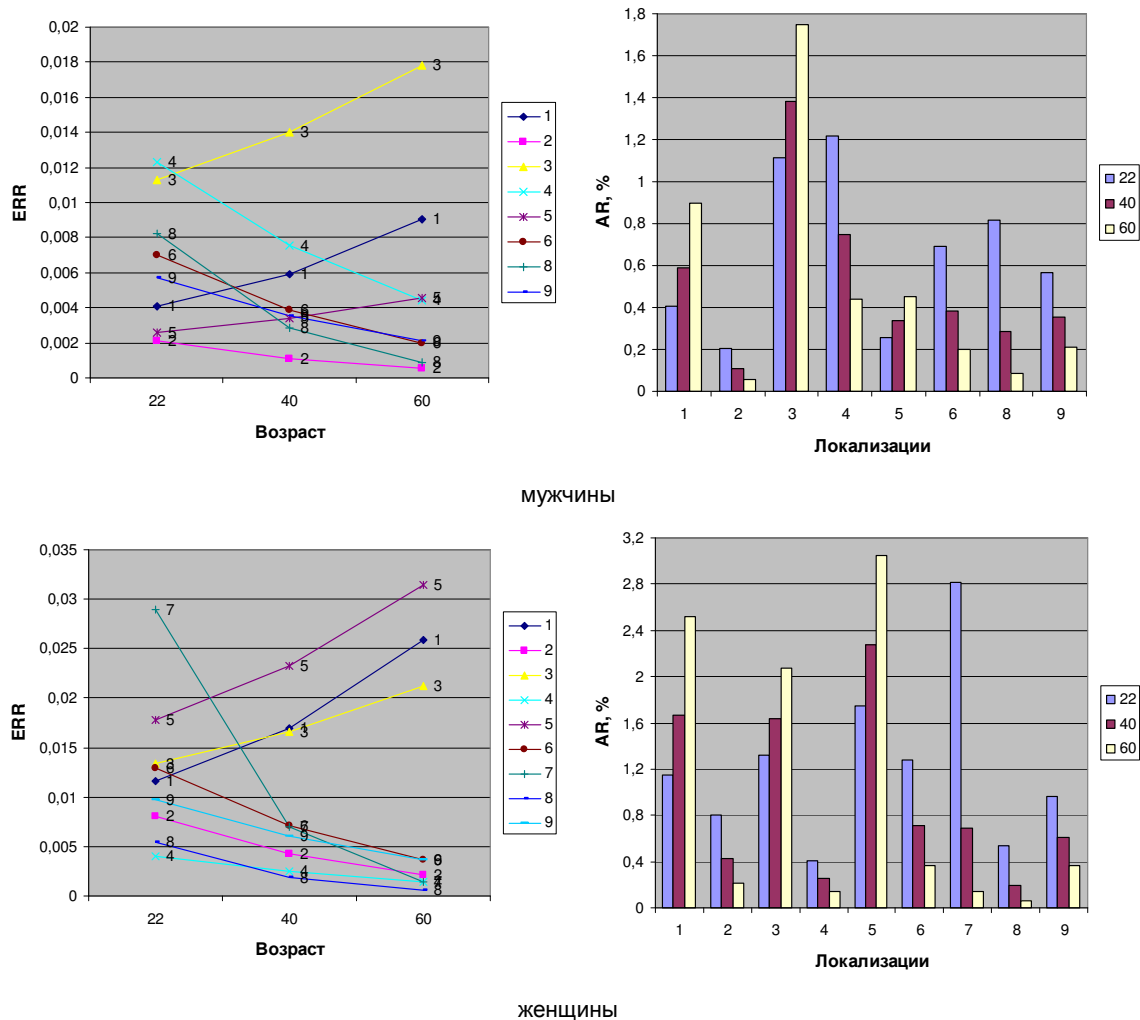


Рис. 12. Величина избыточного относительного риска (ERR) и атрибутивного риска (AR) для различных возрастных групп и локализаций солидных раков (Жиздринский район).
1 – органы дыхания; 2 – желудок; 3 – мочевой пузырь; 4 – печень; 5 – пищевод;
6 – ободочная кишка; 7 – молочная железа; 8 – остальные; 9 – все солидные раки.

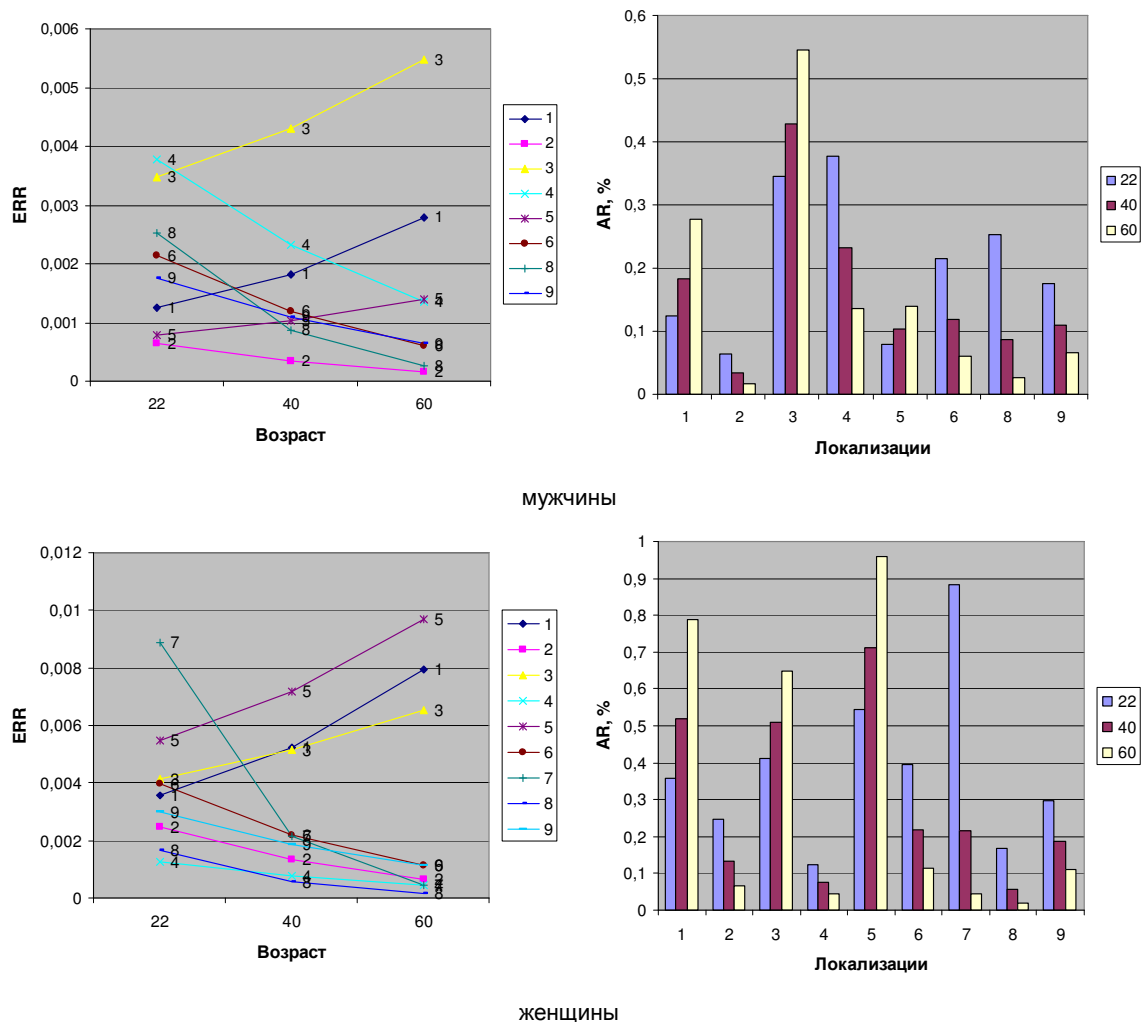


Рис. 13. Величина избыточного относительного риска (ERR) и атрибутивного риска (AR) для различных возрастных групп и локализаций солидных раков (Людиновский район).
 1 – органы дыхания; 2 – желудок; 3 – мочевой пузырь; 4 – печень; 5 – пищевод;
 6 – ободочная кишка; 7 – молочная железа; 8 – остальные; 9 – все солидные раки.

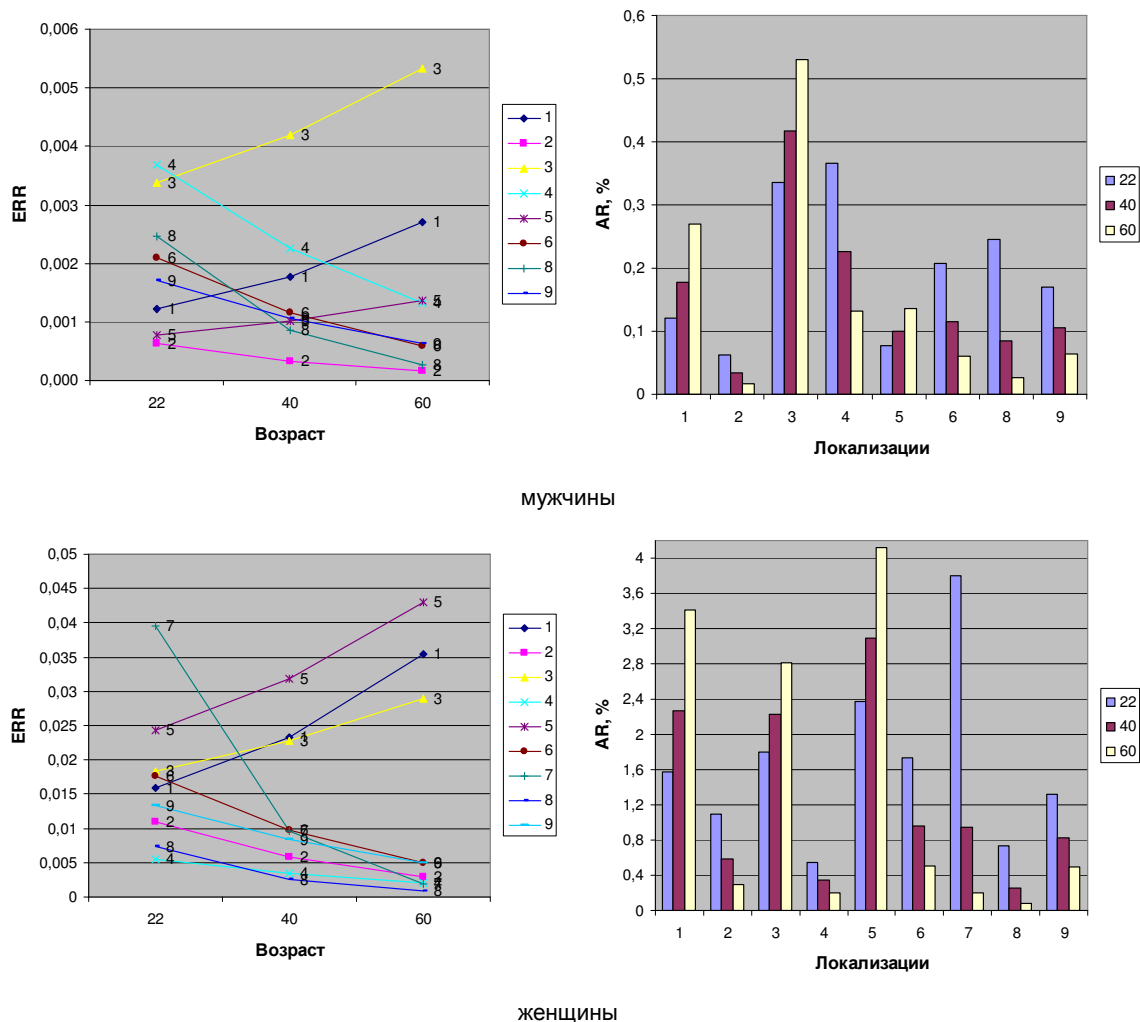


Рис. 14. Величина избыточного относительного риска (ERR) и атрибутивного риска (AR) для различных возрастных групп и локализаций солидных раков (Юхновский район).
1 – органы дыхания; 2 – желудок; 3 – мочевой пузырь; 4 – печень; 5 – пищевод;
6 – ободочная кишка; 7 – молочная железа; 8 – остальные; 9 – все солидные раки.

На рис. 16, 17 приведены данные по оценке атрибутивного риска солидных раков (мужчины, женщины, возраст 22 года в 2008 г.) для всех районов Калужской области. Фактические данные Национального регистра действительно свидетельствуют об отсутствии статистически значимого прироста частоты солидных раков в Калужской области в 2005-2006 гг.

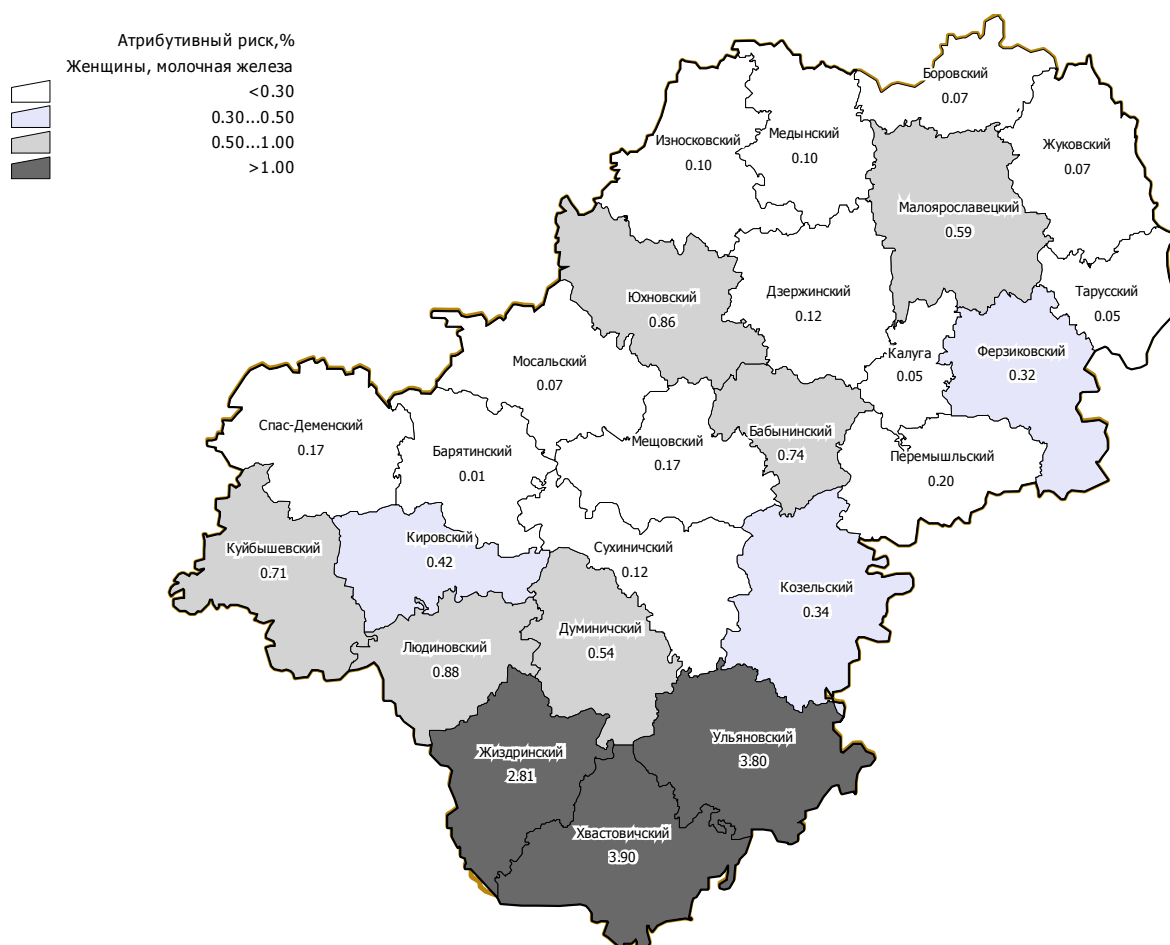


Рис. 15. Радиационные атрибутивные риски рака молочной железы у женщин Калужской области.

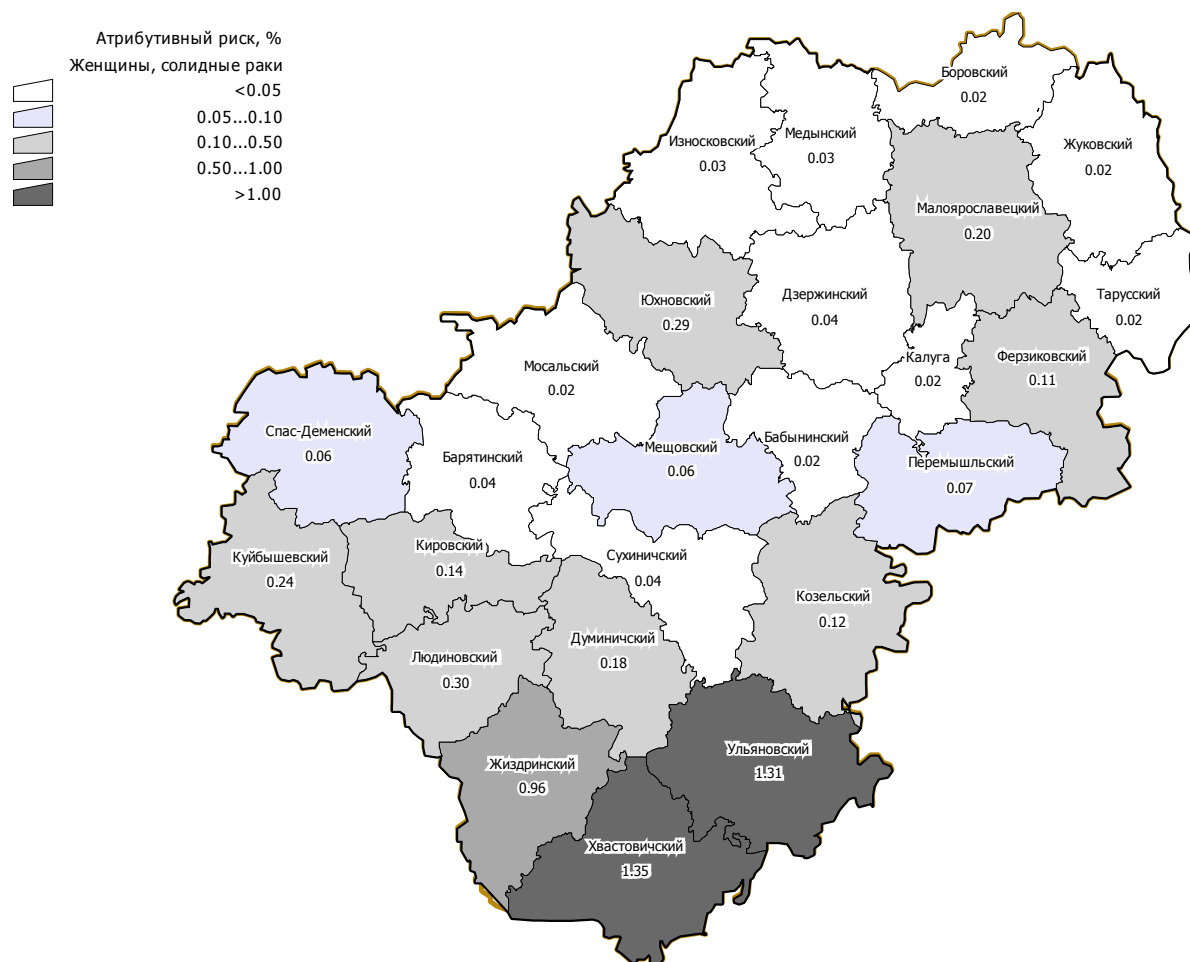


Рис. 16. Радиационные атрибутивные риски солидных раков у женщин Калужской области.

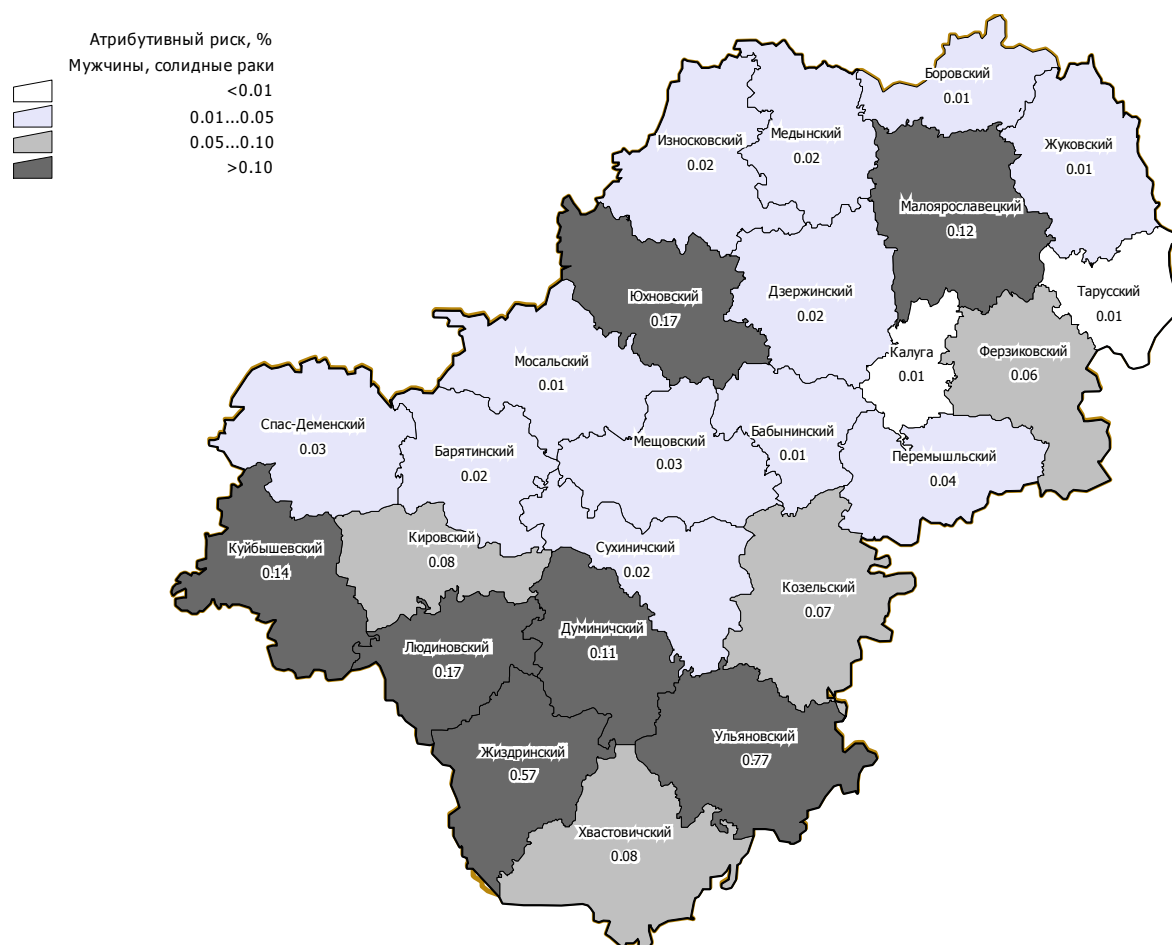


Рис. 17. Радиационные атрибутивные риски солидных раков у мужчин Калужской области.

Литература

1. Брук Г.Я., Балонов М.И., Власов А.Ю. и др. Средние накопленные за 1986-2005 годы эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей РФ, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства РФ № 1582 от 18 декабря 1997 г. «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» //Радиация и риск. 2007. Т. 16, № 1. С. 3-73.
2. Власов О.К. Схема реконструкции динамики доз внутреннего облучения населения на основе консервативных допущений, принятых в официальных методиках и при расчетах доз для каталогов //Радиация и риск. 2007. Т. 16, № 2-4. С. 109-133.
3. Власов О.К., Годько А.М., Щукина Н.В., Коробова Е.М. Реконструкция динамики эффективных доз облучения населения, проживающего на загрязненной в результате аварии на ЧАЭС территории, по официальным данным //Радиация и риск. 2007. Т. 16, № 2-4. С. 92-108.
4. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Максютов М.А. и др. Медицинские радиологические последствия Чернобыля для населения России: оценка радиационных рисков. М.: Медицина, 2002.
5. Накопленные в 1986-1995 годах средние эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году //Радиация и риск. 1999. Специальный выпуск.
6. Оценка доз облучения населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Сборник методических документов. Санкт-Петербург, 2006. 180 с.
7. Ivanov V.K., Gorski A.I., Tsyb A.F. et al. Radiation-epidemiological studies of thyroid cancer incidence among children and adolescents in the Bryansk oblast of Russia after the Chernobyl accident (1991-2001 follow-up period) //Radiat. Environ. Biophys. 2006. V. 45, N 1. P. 9-16.
8. Thompson D.E., Mabuchi K., Ron E. et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1950-1986 //Radiation Research. 1994. V. 137. P. S17-S67.
9. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: United Nations, 1994.

Delayed radiological consequences of the Chernobyl accident in population of the Kaluga oblast: solid cancers

Drynova N.N., Vlasov O.K., Shchukina N.V., Ivanov V.K.

Institution of the Russian Academy of Medical Sciences Medical Radiological Research Center of the Russian Academy of Medical Sciences, Obninsk

Prognosis of induction of radiation related solid cancers in population of the Kaluga oblast was made with the use of UNSCEAR model. It was found that the increase in the rate of all solid cancers could be up to 1 %. Calculated and actual data of the National Radiation and Epidemiological Registry were in good agreement. The contribution of radiation to increase of the rate of breast cancer in young women can be up to 4 %.

Key words: *attributable risk, solid cancers, inhabitants of the Kaluga oblast.*

Drynova N.N. – Postgraduate Student; Vlasov O.K. – Head of Laboratory, D.Sc., Tech.; Shchukina N.V. – Research Assistant; Ivanov V.K.* – First Deputy Chairman of RSCRP, Deputy Director, Corr. Member of RAMS. MRRC RAMS.

* Contacts: 4 Korolyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel.: (495) 956-94-12, (48439) 9-33-90; e-mail: nrer@obninsk.com.