

**ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ  
ЖИТЕЛЕЙ НАСЕЛЁННОГО ПУНКТА В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТКА  
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ОДНОГО  
ИЗ ЕЁ КОМПОНЕНТОВ**

*ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека», г. Гомель, Беларусь*

Предлагается модель, которая позволяет прогнозировать индивидуальные дозы внешнего облучения, основанная на выявлении взаимосвязи между дозами внутреннего и внешнего облучения в группах однотипного поведения жителей населённого пункта. Применены методы прикладной статистики, в частности, классификация объектов по совокупности информативных фактор-признаков и распознавание образов. Исследовано 8 населённых пунктов, различающихся по условиям формирования дозы облучения. Реконструированы распределения индивидуальных доз внешнего облучения в группах однотипного поведения жителей этих населённых пунктов по распределению индивидуальных доз внутреннего облучения, оценены их статистические параметры. Выполнена оценка распределения суммарной дозы облучения жителей каждого населённого пункта.

**Ключевые слова:** *распределение дозы, классификация, информативные фактор-признаки, группы однородности*

**Введение**

В идеале корректная оценка дозы в населённом пункте (НП) может быть выполнена, если имеется достаточная информация по индивидуальным дозам внешнего и внутреннего облучения, полученная по результатам индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) и СИЧ-измерений, которая позволила бы построить распределение суммарной дозы облучения. Это обеспечило бы адекватную статистическую оценку дозы облучения конкретного НП, что, в свою очередь, могло бы определить дифференцированную тактику радиационной защиты.

Задача оценки доз в условиях недостатка дозиметрических данных актуальна потому, что в реальных условиях дефицит такой информации – обычное явление. Так, только по единичным НП имеются данные ИДК-измерений, причём для очень небольшого количества жителей.

Поскольку база данных СИЧ-измерений Государственного дозиметрического регистра наиболее полная и составляет ~ 2 000 000 записей, оправданно разработать такой методический подход, чтобы

на его основе прогнозировать распределение суммарной дозы облучения жителей. Регрессионная оценка является наиболее точной и более устойчивой. Но это можно только в том случае, если дозы внешнего и внутреннего облучения – взаимозависимые случайные величины. Однако считается общепризнанным, что они независимы, поскольку якобы формируются за счет различных факторов, а именно: доза внешнего облучения зависит от типа жилья и профессиональной деятельности а внутреннего – от пищевых привычек людей.

Действительно, доза формируется благодаря индивидуальным особенностям человека (возрастно-профессиональным, психосоциальным). Любые другие факторы могут оказывать влияние на формирование дозы опосредовано. Нашими многочисленными исследованиями установлена роль в дозообразовании «лесного» фактора [1-3].

Поскольку дозы внешнего и внутреннего облучения являются свойствами одного и того же человека, то они должны быть взаимосвязаны. Эта взаимосвязь может быть обнаружена в группах людей, объединённых по совокупности факторов,

влияющих на формирование доз внешнего и внутреннего облучения.

Как было показано нами ранее, распределение дозы облучения жителей НП в общем случае можно считать логарифмически нормальным, хотя на самом деле это – смесь нескольких логнормальных распределений, соответствующих группам однотипного поведения жителей НП [2].

Такая концептуальная посылка открывает новые возможности в плане разработки адекватных методов оценки доз облучения, которые позволяют оптимизировать решение актуальной научной задачи – оценку суммарной дозы для жителей отдельного НП по доступным данным о дозе внутреннего или внешнего облучения.

В рамках такого подхода был разработан метод прогноза параметров неизвестного (искомого) распределения дозы (внешнего или внутреннего облучения) по параметрам известного распределения дозы (доступная дозиметрическая информация).

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования были выполнены на примере одного из наиболее загрязненных населенных пунктов, а именно, Кирова Наровлянского района Гомельской области (плотность загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  – 888 кБк/м<sup>2</sup>), и расположенного в непосредственной близости от крупного лесного массива. Предварительно был проведен опрос с целью выявления жителей, употребляющих молоко из личного подсобного хозяйства и установления «контакта» их с лесом. По данным опроса выявлены жители, имеющие «контакт» с лесом, а также относящиеся к одной из двух ПВГ<sup>1</sup>. Опрашиваемые одновременно обследовались на содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме (СИЧ-измерения) и для определения доз внешнего облучения проведены ИДК-измерения методом термомлюминесцентной дозиметрии (ТЛД) [2]. Всего

обследовано 227 человек. Исследования были проведены летом 1993 года.

Были применены методы прикладной статистики: дисперсионный анализ, многофакторный статистический анализ: классификация жителей по совокупности информативных фактор-признаков, корреляционный и регрессионный анализ, метод распознавания образов [4,5].

#### **Результаты исследования**

Поскольку принципиальной основой метода является корреляционная связь между дозами внешнего и внутреннего облучения, для выявления этой связи была проведена классификация выборки жителей по совокупности следующих признаков: прямых – доза внутреннего облучения (СИЧ-измерения), доза внешнего облучения (ИДК-данные) и косвенных – принадлежность к ПВГ и «контакт» с лесом. В результате процедуры классификации было выявлено 5 классов однородности, в каждом из которых построили линейную регрессию дозы внешнего на дозу внутреннего облучения.

Классификационные и статистические характеристики по выделенным классам однородности представлены в таблице 1.

В первый класс вошли представители только ПВГ<sup>1</sup>, не имеющие «контакта» с лесом и не употребляющие молоко; второй класс на 80% составили представители ПВГ<sup>1</sup>, у которых «контакт» с лесом – 80%; в третий класс – представители ПВГ<sup>1</sup> и ПВГ<sup>2</sup> – почти поровну, «контакт» с лесом – 70%; четвертый класс – представители ПВГ<sup>1</sup> и ПВГ<sup>2</sup> – поровну, с высокой степенью «контакта» с лесом (около 90%); пятый класс – преимущественно представители ПВГ<sup>2</sup>, 100%-ный «контакт» с лесом. Низкие значения стандартного геометрического отклонения указывают на высокую степень однородности в классах, что, в свою очередь, свидетельствует об адекватности выполненной классификации изучаемой выборки.

<sup>1</sup>Методом однофакторного дисперсионного анализа все жители были разбиты на две группы ПВГ-1 и ПВГ-2, различающиеся по дозам внешнего и внутреннего облучения в 1,5-2 раза. В ПВГ-1 (с наименьшими дозами) вошли дети, служащие, женщины-пенсионеры, в ПВГ-2 – лица рабочих профессий, мужчины-пенсионеры [2].

Таблица 1 – Классификационные признаки и статистические параметры классов однородности выборки жителей НП Киров

N класса	Доля лиц, относящ. к ПВГ1 и ПВГ2	Доля лиц, контактирующих с лесом	Отношение $\frac{D_{\text{внеш}}}{D_{\text{внутр}}}$	Медиана (мЗв/год)		Стандартное геометрическое отклонение	
				$D_{\text{внеш}}$	$D_{\text{внутр}}$	$D_{\text{внеш}}$	$D_{\text{внутр}}$
1	1 / 0	-	6,9	2,66	0,38	1,11	1,19
2	0,8 / 0,2	0,8	3,2	2,24	0,79	1,11	1,17
3	0,6 / 0,4	0,7	1,8	1,99	1,12	1,05	1,10
4	0,5 / 0,5	0,9	0,8	1,33	1,67	1,14	1,42
5	0,3 / 0,7	1,0	0,4	1,50	4,04	1,91	1,83
НП в целом	0,7 / 0,3	0,7	1,7	1,84	1,24	1,40	2,83

Для адекватности и точности прогноза необходимо, чтобы выборка одних и тех же лиц, измеренных на СИЧ и ТЛД, так называемая «двойных измерений», была представительна относительно исходной ТЛД, в связи с чем была проведена оценка её репрезентативности. Изначально, исходная выборка была спланирована как представительная для НП Киров.

Для этой цели в качестве критериев оценки были выбраны возрастно-профессиональная характеристика ПВГ (соотношение ПВГ1 и ПВГ2), а также численные значения дозы внешнего облучения и значения стандартного геометрического отклонения распределений выборки «двойных измерений» в сравнении с исходной выборкой (таблица 2).

Данные таблицы 2 убедительно показывают совпадение характеристик для обеих выборок. Следовательно, выборка «двойных измерений» как случайная выборка из «исходной» является представительной. Это отчетливо можно видеть и на рисунке 1, где представлены кривые распределения дозы внешнего облучения для обеих выборок.

Первый этап процедуры реконструкции индивидуальных доз внешнего облучения – классификация выборки «двойных измерений» и построение регрессионных зависимостей по классам однородности. Параметры уравнений регрессии и

Таблица 2 – Характеристика выборки «двойных измерений»

Выборка	Доля ПВГ-1	Доля ПВГ-2	Доза внешнего облучения, мЗв/год		Стандарт. геометр. отклонение
			медиана	среднее	
Исходная	66%	34%	1,58	1,71	1,41
«двойных измерений»	67%	33%	1,87	1,98	1,39

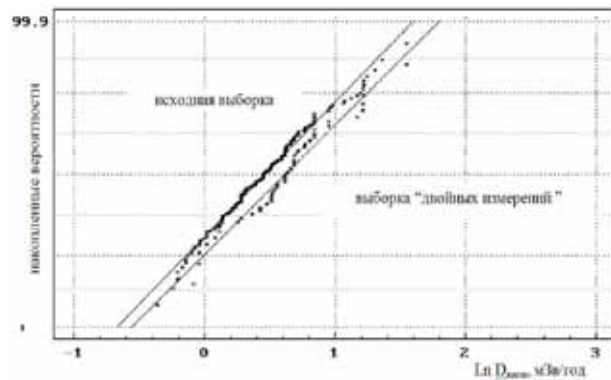


Рисунок 1 – Распределения дозы внешнего облучения жителей НП Киров (исходная и «двойных измерений» выборки)

статистические характеристики по классам представлены в таблице 3.

Второй этап – собственно расчёт по полученным уравнениям регрессии индивидуальных доз внешнего облучения жителей населенного пункта, данные СИЧ-

Таблица 3 – Параметры уравнений регрессии для классов однородности выборки «двойных измерений» НП Киров

Класс	a	b	Коэффициент	
			вариации	корреляции
1	1,06	4,17	0,12	0,53
2	0,56	2,23	0,08	0,86
3	0,44	1,38	0,09	0,77
4	0,25	0,62	0,09	0,91
5	-0,41	0,45	0,22	0,86

измерений у которых имелись, а измерения ИДК отсутствовали. Первым шагом этого этапа является процедура распознавания: для каждого из опрошенных жителей с известной дозой внутреннего и неизвестной дозой внешнего облучения (СИЧ-выборка за вычетом выборки «двойных измерений») отыскивается нужный ему класс однородности по трем из четырех фактор-признаков. По этой выборке осуществлён прогноз индивидуальных доз внешнего облучения, она названа прогнозной. Второй шаг – расчёт индивидуальных доз внешнего облучения по соответствующим уравнениям линейной регрессии для каждого класса. Затем, осуществлялось построение распределений спрогнозированных индивидуальных доз внешнего и внутреннего облучения для каждого из 5 классов. Статистические параметры распределений представлены в таблице 4.

Судя по относительно низким значениям стандартного геометрического отклонения распределений доз внутреннего и внешнего облучения в классах можно сделать вывод об однородности классов. Кроме того, сравнивая параметры распределений доз с аналогичными параметрами распределений дозы выборки «двойных измерений», видно, что они близки для доз как внешнего, так и внутреннего облучения (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Статистические параметры распределений в классах однородности прогнозной выборки НП Киров

№ класса	Доза облучения, мЗв/год, медиана		Стандартное геометрическое отклонение распределения дозы облучения	
	внешнего	внутреннего	внешнего	внутреннего
1	2,66	0,38	1,11	1,18
2	2,24	0,79	1,15	1,17
3	1,98	1,12	1,08	1,09
4	1,33	1,67	1,32	1,39
5	1,49	4,04	1,48	1,83
НП в целом	1,84	1,23	1,41	2,82

Таблица 5 – Параметры распределения дозы внешнего облучения в НП Киров

Населённый пункт	Численность прогнозной выборки	Доза внешнего облучения, медиана, мЗв/год		Стандартное геометрическое отклонение	
		исходная выборка	прогнозная выборка	исходная выборка	прогнозная выборка
Киров	159	1,71	1,98	1,4	1,4

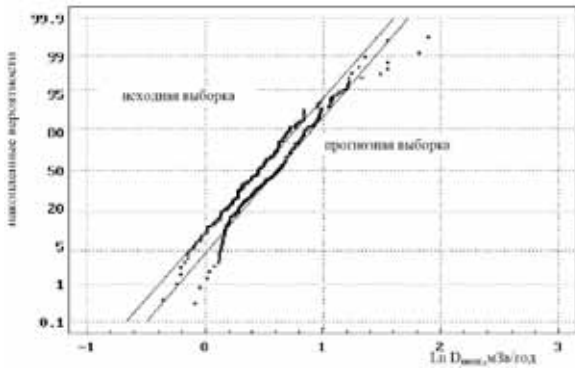
Далее индивидуальные дозы внешнего облучения, спрогнозированные по каждому классу, были объединены в одну выборку. Затем построили распределение дозы внешнего облучения и оценили его статистические параметры.

Верификация метода основана на сопоставлении параметров распределения прогнозной и исходной выборок. Параметры распределения (медиана и стандартное геометрическое отклонение) дозы внешнего облучения для этих выборок представлены в таблице 5.

Анализ данных таблицы 5 показывает хорошее соответствие значений прогнозных (рассчитанных по модели) и реально измеренных доз. Погрешность прогностической оценки для рассматриваемых населённых пунктов находится в интервале  $\pm 25\%$ .

Графически распределения дозы внешнего облучения для исходной и прогнозной выборок в НП Киров показаны на рисунке 2.

Сравнение параметров распределений для этих двух выборок демонстрирует высокую степень их согласованности (медиана – 1,58 и 1,86 мЗв/год, соответственно, и совпадающие значения стандартного геометрического отклонения – 1,4 и 1,4). В конечном счёте, это гарантирует хорошее качество оценки распределения суммарной дозы облучения.



**Рисунок 2** – Распределения дозы внешнего облучения жителей НП Киров (исходная и прогнозная выборки)

Для построения распределения суммарной дозы складывались индивидуальные дозы внешнего облучения (прогнозные) и измеренные дозы внутреннего облучения (рассчитанные по СИЧ-измерениям) для каждого обследованного жителя НП Киров. Также были построены распределения суммарной дозы по классам для выборок «двойных измерений» и прогнозная. Характеристики полученного таким образом распределения суммарной дозы в целом по населённому пункту и по классам приведены в таблице 6.

Статистические параметры распределения суммарной дозы, построенного по модели (прогнозная выборка) практически совпадают с реальными значениями (выборка «двойных измерений») как в целом по населённому пункту, так и по классам однородности.

### Заключение

Оцененные таким способом параметры распределения суммарной дозы облучения жителей населённых пунктов, распо-

ложенных в зонах радиоактивного загрязнения, позволят адекватно определить ошибку оценки среднего значения для логарифмически нормального распределения, которую необходимо учитывать при составлении каталогов СГЭД облучения населения. Это, в свою очередь, позволит обеспечить приемлемую консервативность оценки СГЭД и снизить социальную напряжённость.

### Библиографический список

1. Skryabin, A.M. / Pathway analysis and dose distributions JSP5/ A.M. Skryabin, N.G. Vlasova Report EUR 16541EN, S. European Commission. Brussels. December 1995, – 130 p.
2. Власова, Н.Г. Статистический анализ факторов, влияющих на формирование дозы облучения сельского населения, проживающего на территориях, загрязнённых в результате аварии на ЧАЭС. Дис. канд. биол. наук: 03.00.01 – радиобиология / Власова Н.Г. – Обнинск, 1998. – 121 с.
3. Скрябин, А. М. «Человеческий» фактор: дозы и защитные меры / А. М. Скрябин // Сб. материалов V Международной конференции «Экология человека в постчернобыльский период». 20-22 марта 1997. – Минск. – 1997. – С. 45-47.
4. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян [и др.] – М.: Финансы и статистика, 1989. – 328 с.
5. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян [и др.] – М.: Финансы и статистика. 1989. – 376 с.

Таблица 6 – Характеристики параметров распределения суммарной дозы по классам

N класса	Суммарная доза, мЗв/год				Станд. геом. отклонение	
	Выборка «двойных измерений»		прогнозная выборка		выборка «двойных измерений»	прогнозная выборка
	среднее	медиана	среднее	медиана		
1	3,13	3,58	2,75	3,04	1,11	1,12
2	2,69	2,58	2,90	3,03	1,19	1,11
3	3,08	2,97	3,14	3,11	1,20	1,08
4	3,57	3,54	3,22	3,00	1,30	1,38
5	7,57	7,25	7,60	5,54	1,23	1,89
НП в целом	3,90	3,00	3,95	3,18	1,77	1,50

**N.G. Vlasova, Yu.V. Visenberg**

**ASSESSMENT OF THE TOTAL DOSE DISTRIBUTION AT INHABITANTS IN  
RURAL SETTLEMENT AT THE LACK OF DOSIMETRIC INFORMATION BY  
ONE OF ITS COMPONENT**

Total (internal and external) dose distribution assessment in practice meets difficulties due to the lack or absence of dosimetric information. Wide-scale program of whole-body measurements provides data on the internal dose and permits statistical evaluations, while at the lack of external dose information the total dose can hardly be assessed correctly. The development of the method to assess the total dose based on statistical data on either internal or external dose is of great interest. It is possible only in the case, if the relationship between the internal and the external doses is exist. These relationship have been proved already. Thus the results of the study allow to conclude that there is a relationship between the external and the internal doses, but only in the population of a settlement decomposing into classes of similarity on socio-demographical characteristics and dietary habits. The results of the study may be applied as a basis for further research on the development the method of total dose distribution assessment for a settlement if there is an accessible information on either external or internal dose in rural population. It may be of scientific and practical interest.

**Key words:** *dose distribution, classification, informative signs, groups of homogeneity*

*Поступила 03.04.10*