

В связи с этим в первом случае нивелируется величина предотвращенной накопленной дозы за счет потребления молока. Как видно из данных таблицы 2, разница между суммарными дозами без конгрмер и с конгрмерами составляет 16 % и не является достоверной. Для торфяно-болотных почв аналогичный показатель равен 30 % и достоверен при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

Таким образом, с радиологической точки зрения возникает вопрос об эффективности мер, проводимых на кормовых угодьях, расположенных на минеральных почвах.

Однако с точки зрения сельскохозяйственной радиологии такие мероприятия необходимы. И здесь следует отметить два важных момента:

1. К настоящему времени радиоактивность молока снижена в 3–5 раз, что видно на рисунке 1. Кроме того, даже для населенных пунктов с уровнем загрязнения минеральных почв  $740 \text{ кБк/м}^2$  было достигнуто среднее значение удельной радиоактивности молока, не превышающее уровень  $100 \text{ Бк/л}$  уже к середине 90-х годов. А для торфяно-болотных почв без проведения сельскохозяйственных мероприятий норматив не был бы вообще достигнут вплоть до настоящего времени даже при относительно невысоких уровнях загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$ .

2. Проводимые мероприятия несут большую позитивную социально-психологическую нагрузку, что немаловажно.

Рекомендуемым критерием оценки эффективности защитных мероприятий в сельском хозяйстве является стоимость предотвращенной коллективной дозы на чел. Зв.

Приведенные оценки показали, что на настоящее время мероприятия могут считаться оправданными на кормовых угодьях с торфяными почвами, начиная с плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$   $430 \text{ кБк м}^{-2}$ , с минеральными почвами —  $820 \text{ кБк м}^{-2}$ , при непревышении рекомендуемого уровня в 10 тыс. долл. США на 1 чел.-Зв. Следует отметить, что в настоящее время населенные пункты и прилегающие к ним сельскохозяйственные угодья, которые включены в оборот, как таковые отсутствуют.

#### **Заключение**

1. Показано, что существует разница между суммарными накопленными дозами без конгрмер и с конгрмерами на минеральных и

торфяно-болотных почвах, которая составляет 16 и 30 % соответственно.

2. Суммарные накопленные дозы могут являться критерием для достоверной оценки эффективности сельскохозяйственных мероприятий. Поэтому полученные результаты и используемый в работе подход может быть применен для анализа эффективности защитных мероприятий на загрязненных кормовых угодьях для конкретных условий.

3. Основываясь на критерии стоимости предотвращенной дозы, установлено, что на настоящее время мероприятия могут считаться оправданными на кормовых угодьях с торфяными почвами, начиная с плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$   $430 \text{ кБк м}^{-2}$ , с минеральными почвами —  $820 \text{ кБк м}^{-2}$ , при непревышении рекомендуемого уровня в 10 тыс. долл. США на чел.-Зв. Жилые поселения с такими уровнями загрязнения на территории Беларуси в настоящее время отсутствуют.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения затраты — выгода. Публикация «37 МКРЗ». — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 95 с.
2. Правила ведения агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2002–2005 гг. / под ред. И. М. Богдевича. — Минск: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 1997. — 74 с.
3. Dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  Bioavailability in a Soil-Plant System in Areas of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident Zone with a Different Physicochemical Composition of Radioactive Fallout / S. V. Fesenko [et al.] // J. Environ. Radioactivity. — 1997. — Vol. 34, № 3. — P. 287–313.
4. Анализ факторов, определяющих эффективность защитных мероприятий в сельском хозяйстве при радиоактивном загрязнении. Радиационная биология / С. В. Фесенко [и др.] // Радиоэкология. — 1998. — Vol. 38, № 3. — С. 337–351.
5. Музалевская, А. А. Эффективность защитных мероприятий в растениеводстве на различных этапах ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (на примере Брянской области): автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. А. Музалевская. — Обнинск, 2010. — 25 с.
6. Определение годовых суммарных эффективных эквивалентных доз облучения населения для контролируемых районов РСФСР, УССР и БССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. — М.: Методические указания № 5792–91 от 5.07.91 г., 1991. — 50 с.
7. Миненко, В. Ф. Определение годовых суммарных эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / В. Ф. Миненко. — Минск: БГУИР, 1994. — 26 с.
8. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115 IAEA. — Vienna, 1996. — 353 pp.
9. Rural areas affected by the Chernobyl accident: Radiation exposure and remediation strategies / P. Jacob [et al.] // Science of the Total Environment. — 2009. — № 408. — P. 14–25.

Поступила 24.02.2015

УДК 546.296:553.981(476)

## **ОСНОВА ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ РАДОНОВОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ И МОГИЛЁВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

*Л. А. Чунихин, В. Н. Бортновский, А. А. Лабуда*

**Гомельский государственный медицинский университет**

**Цель:** установить корреляционную связь между объемной активностью радона в помещениях зданий и показателем, определяющим содержание и поведение радона в породах.

**Материалы и методы.** Результаты измерений объемной активности радона в помещениях зданий в сельских населенных пунктах Гомельской и Могилёвской областей, выполненных специалистами НИИ морской и промышленной медицины (г. Санкт-Петербург) в 1992 г., карты мощности экспозиционной дозы до аварии на ЧАЭС, составленные по результатам измерений специалистами РУП «Белгеология» в период 1969–1985 гг., а также геологические карты пород с различным содержанием урана.

**Результаты и заключение.** Предложен комплексный радоновый показатель, который рассчитывают как произведение относительного содержания урана в породах на относительное значение проницаемости пород для радона. Регрессионная зависимость объемной активности от комплексного радонового показателя, усредненная по районам Гомельской и Могилёвской областей, имеет довольно высокий коэффициент корреляции — 0,76. Такой степени корреляционной связи достаточно, чтобы использовать данный показатель, полученный по измерениям радоновых характеристик в породах на территории Гомельской и Могилёвской областей, для картирования радонового потенциала этих территорий с целью определения радоноопасных участков.

**Ключевые слова:** радон, карта радонового потенциала, мощность экспозиционной дозы (МЭД), содержание урана в породах, регрессионная зависимость, коэффициент корреляции, Гомельская и Могилёвская области.

## THE BASIS FOR RADON RISK MAPPING IN GOMEL AND MOGILEV REGIONS

L. A. Chunikhin, V. A. Bortnovsky, A. A. Labuda

Gomel State Medical University

**Objective:** to determine correlative relations between the indoor volume activity of radon and the parameter defining the content and nature of radon in rocks.

**Material and methods.** The results of indoor volume activity in rural settlements of Gomel and Mogilev regions measured by specialists of Scientific and Research Institute of Industrial and Marine Medicine (Saint Petersburg) in 1992, the exposure dose power maps before the Chernobyl Disaster made by specialists of the Republican Unitary Enterprise «Belgeology» over 1969–1985, and the geologist rocks maps with various uranium content were used as the basis for radon risk mapping.

**Results and conclusion.** We have proposed the complex radon factor that may be calculated as the relative content of uranium in rocks multiplied by the relative value of rock penetration. The regression dependence of volume activity on the complex radon value taken on average in Gomel and Mogilev regions has essentially high correlative coefficient — 0.76. Such correlation is enough to use this parameter based on the measurements of rock radon characteristics in Gomel and Mogilev regions for radon risk mapping.

**Key words:** radon, Gomel and Mogilev regions, dose power, uranium content in rocks, regression, correlation factor.

### Введение

Проблемы облучения радоном с его дочерними продуктами распада (ДПР) и радиационной защиты на рабочих местах и в жилищах были рассмотрены в Публикациях № 50 и № 60 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [1, 2]. Принципиально новые подходы к оценке радоновой опасности и радиационной защите от радона и его ДПР были приведены в Публикации № 65 МКРЗ:

- нецелесообразность использования дозиметрических моделей легкого при оценке доз облучения от ДПР радона;
- единство критериев подхода к защите от радона на рабочих местах и в жилищах;
- введение понятия и критериев для оценки радоноопасных зон, позволяющее сконцентрировать усилия по проведению корректирующих мероприятий [3].

Первый тезис предусматривает осторожный подход к дозиметрическим оценкам радона, которые часто являются завышенными. Второй тезис распространяет выводы, сделанные в эпидемиологических исследованиях на шахтерах, находящихся на рабочих местах с повышенным содержанием радона, на обычные бытовые усло-

вия проживания. Третий тезис является очень важным в случаях, когда имеется недостаток ресурсов для проведения полномасштабных исследований, как, например, в Беларуси. В этом случае можно провести картирование территории по радоновой опасности, выделить наиболее радоноопасные зоны и провести необходимые противорадоновые мероприятия.

Картирование производят по радоновому потенциалу или радоновому риску, в первом случае показателем для картирования является объемная активность (ОА) радона в почвенном воздухе, во втором — в жилых и рабочих помещениях зданий.

### Цель исследования

Установить корреляционные связи между средне-районными значениями показателей, определяющих наличие радона в породах, и ОА радона в помещениях зданий сельских НП, усредненных по всем измерениям в районе. Существование регрессионной зависимости между ОА в помещениях зданий и радоновыми показателями, определенными по геологическим структурам, хотя и усредненными в масштабах районов, может быть основой для картирования территории по радоновому риску в более крупномасштабном варианте.

**Материалы и методы**

Материалами для данной разработки являются результаты измерений объемной активности радона в типичных помещениях сельских населенных пунктов (НП) всех районов Гомельской и Могилёвской областей, полученные при широкомасштабном обследовании, выполненном специалистами НИИ морской и промышленной медицины (г. Санкт-Петербург) в 1992 г. [4]. В ходе исследований были проведены измерения ОА радона в 51–181 НП районов Могилёвской области и в 26–224 НП районов Гомельской области. В каждом обследуемом НП сделано по несколько измерений ОА радона в типичных помещениях сельских зданий.

Рабочими материалами являются карты мощности экспозиционной дозы (МЭД), составленные по результатам измерений специалистами РУП «Белгеология» в период 1969–1985 гг. [5], и геологические карты Республики Беларусь, на которых показано расположение пород с различным содержанием урана [5]. В настоящей разработке используются также данные по проницаемости различных пород для радона [6].

По картам МЭД были определены средневзвешенные значения МЭД по каждому району Гомельской и Могилёвской областей по формуле:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{P}_i \times S_i}{S_{\text{района}}} \quad (1)$$

где  $\bar{P}_i$  — среднее значение МЭД на  $i$ -й площади района, мкР/час;

$S_i$  — площадь со значением МЭД  $P_i$ , км<sup>2</sup>;

$S_{\text{района}}$  — общая площадь района, км<sup>2</sup>.

Средне-районные значения ОА радона получали по измеренным значениям в помещениях зданий, как:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (2)$$

где  $C_i$  — измеренная  $i$ -я ОА в районе, Бк/м<sup>3</sup>;

$n$  — количество измерений в районе.

Было определено 9 геологических пород, существующих на территории Беларуси, различающихся по уровню содержания урана [7], которые были нормированы на значение максимального содержания урана в породе (глине), принятое за 1. Кроме этого, эксхалация радона зависит от проницаемости пород. Она определяется пористостью и коэффициентами фильтрации радона в грунтах [8]. Относительные значения пористости и коэффициентов фильтрации представленных пород вместе с относительными показателями урана в этих породах приведены в таблице 1. По аналогии значения пористости были нормированы на максимальную величину, содержащуюся в супеси и алевролите, а коэффициенты фильтрации — на его максимальное значение в песчано-гравийной смеси.

Таблица 1 — Относительные характеристики радоновых показателей геологических пород

Состав пород	Глина	Суглинок	Суглинок моренный	Супесь моренная	Песчано-гравийная смесь	Супесь	Алевролит	Песок полевой шпатовый	Песок кварцевый
Относительный показатель запаса урана, U	1,0	0,77	0,70	0,62	0,62	0,46	0,45	0,30	0,11
Относительный показатель пористости грунта, A	0,90	0,90	0,70	0,70	0,85	1,0	1,0	0,90	0,85
Отн. показатель коэффициент фильтрации, F	0,002	0,004	0,004	0,027	1,0	0,04	0,04	0,15	0,33

Следует отметить, что ОА радона в помещениях зданий зависит как от содержания урана в грунтах и их проницаемости, так и от конструктивных особенностей и защитных свойств зданий. Если принять, что в сельских НП преобладают одноэтажные деревянные строения с простыми фундаментами и деревянными полами, то можно считать, что поступление радона в помещение определяется в основном свойствами подстилающих пород. Исходя из этого предположения можно предложить в качестве комплексного радонового показателя так называемый «радоновый индекс», который можно рассчитать при помощи формулы:

$$R_i = U_i \times A_i \times F_i \quad (3)$$

где  $R_i$  — значение радонового индекса для  $i$ -й породы, отн. ед.;

$U_i$  — относительный показатель запаса урана для  $i$ -й породы, отн. ед.;

$A_i$  — относительный показатель пористости  $i$ -й породы, отн. ед.;

$F_i$  — относительный показатель коэффициента фильтрации, отн. ед.

Средневзвешенное значение радонового индекса рассчитываем по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \times S_i}{S_{\text{района}}} \quad (4)$$

где  $R_i$  — значение радонового индекса  $i$ -й породы;

$S_i$  — площадь, занимаемая  $i$ -й породой в районе, км<sup>2</sup>;

$S_{\text{района}}$  — общая площадь района, км<sup>2</sup>.

Для удобства дальнейшего использования полученный ряд значений  $R$  по районам Гомельской и Могилёвской областей нормирован на максимальную величину.

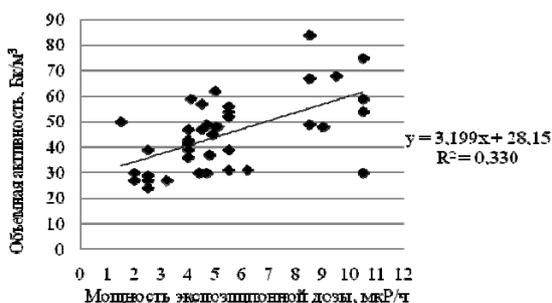
**Результаты и обсуждение**

Линейные регрессионные зависимости средних значений ОА радона, полученные по результатам

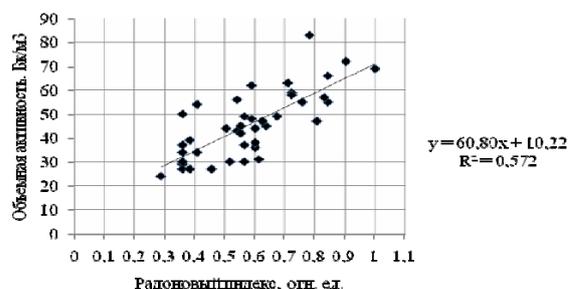
измерений в районах Гомельской и Могилёвской областей, от средневзвешенных значений МЭД и радонового индекса приведены на рисунках 1, 2.

Исходные данные для полученных регрессионных зависимостей приведены в таблице 2.

Приведенные на рисунках 1, 2 регрессионные зависимости показывают, что использование комплексного радонового показателя повышает коэффициент корреляции по сравнению с простым радоновым показателем, каким является МЭД.



**Рисунок 1 — Зависимость средне-районных значений ОА радона в помещениях от МЭД на территории**



**Рисунок 2 — Зависимость средне-районных значений ОА радона в помещениях от радонового индекса пород**

Таблица 2 — Средне-районные радоновые показатели Гомельской и Могилевской областей

№ п/п	Гомельская область			Могилевская область				
	район	ОА, Бк/м <sup>2</sup>	МЭД, мкР/ч	радоновый индекс, отн. ед.	район	ОА, Бк/м <sup>2</sup>	МЭД, мкР/ч	радоновый индекс, отн. ед.
1	Светлогорский	37	4,8	0,57	Дрибинский	58	5,5	0,72
2	Лельчицкий	24	2,5	0,29	Горецкий	75	10,5	0,90
3	Брагинский	39	2,5	0,39	Мстиславльский	68	9,5	0,71
4	Хойникский	56	5,5	0,54	Краснопольский	52	5,5	0,78
5	Калинковичский	29	2,5	0,36	Кировский	54	5,5	0,41
6	Петриковский	27	2,0	0,36	Круглянский	66	4,5	0,84
7	Речицкий	45	4,9	0,64	Кричевский	84	8,5	0,78
8	Буда-Кошелевский	31	6,2	0,61	Бельничский	30	5,0	0,41
9	Гомельский	62	5,0	0,59	Быховский	42	5,5	0,51
10	Добрушский	47	4,5	0,81	Хотимский	42	4,0	0,55
11	Жлобинский	43	4,0	0,54	Костюковичский	36	4,0	0,60
12	Октябрьский	30	2,0	0,36	Шкловский	57	8,5	1,0
13	Рогачевский	30	4,4	0,52	Климовичский	31	5,5	0,41
14	Чечерский	59	4,1	0,72	Могилевский	49	8,5	0,57
15	Ветковский	47	4,0	0,63	Глуцкий	39	4,0	0,60
16	Житковичский	50	1,5	0,36	Осиповичский	41	4,0	0,60
17	Кормянский	48	5,1	0,59	Кличевский	36	4,0	0,36
18	Ельский	27	2,5	0,39	Бобруйский	57	4,5	0,76
19	Наровлянский	30	4,7	0,57	Чаусский	69	8,5	0,83
20	Мозырский	27	3,2	0,46	Чериковский	52	5,5	0,84
21	Лоевский	49	4,7	0,67	Славгородский	48	5,0	0,55

При накоплении достаточного количества измерений для расчета необходимого числа значений радонового индекса на определенной территории можно составить тематические карты этих территорий по радоновому потенциалу, что позволит выделить наиболее радоноопасные участки. Однако для принятия решений по проведению противорадоновых контрмер необходимо на выделенных радоноопасных участках провести дополнительные

исследования по определению среднегодовых значений ОА радона в помещениях зданий [3].

На рисунке 3 приведена регрессионная зависимость между средне-районными показателями ОА радона в помещениях зданий и значениями МЭД на открытой местности.

Относительно небольшое значение коэффициента корреляции показывает, что в общем в существующих породах не имеется доста-

точной для анализа корреляционной связи между содержанием урана, тория и калия.

Повышение коэффициента корреляции между ОА радона в помещениях зданий и значениями радонового индекса возможно при учете

уровня грунтовых вод на территории. Как известно [9], уровень грунтовых вод в 1–3 м полностью поглощает почвенный радон, а уровень более 10 м практически оставляет весь выделенный из пород радон в почвенном воздухе.

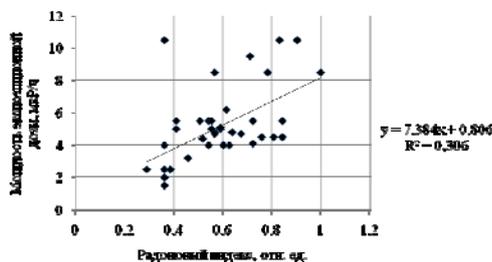


Рисунок 3 — Зависимость средневзвешенных по районам значений МЭД от радонового индекса пород

### Заключение

Полученные регрессионные зависимости между комплексным радоновым показателем — радоновым индексом и ОА радона в помещениях сельских зданий указывает на возможность его использования при построении карт радонового потенциала. Эти карты необходимы для определения и выделения радоноопасных зон с вероятным последующим проведением противорадоновых мероприятий в уже построенных зданиях или для планирования радоновой защиты в проектируемых зданиях [10].

Кроме того, особенно важным, на наш взгляд, является тот факт, что облучение от радона на территории Беларуси является очень неравномерным при относительно высоких значениях дозы облучения населения. Это необходимо учитывать при планировании противорадиационных контрмер на территориях, загрязненных чернобыльскими радионуклидами, а также при регистрации доз облучения в Государственном регистре лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС, других радиационных аварий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ICRP Publication № 50. — Oxford: Pergamon Press, 1987. — 79 с.
2. ICRP Publication № 60. — Oxford: Pergamon Press, 1990. — 94 с.
3. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах / Публикация № 65 МКРЗ. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 78 с.
4. Радоновый мониторинг Могилевской и Гомельской областей Республики Беларусь: отчет о НИР (закл.) / Науч.-иссл. ин-т промышленной и морской медицины; рук. Э. М. Крисюк. — СПб., 1992. — 205 с.
5. Karabanov, A. K. Impact of geological structures of Belarus on Radon Concentration in Air Workshop on Natural Radiation and Radon: seminar on Radon, Stockholm, SSM, 25–27 January, 2009.
6. Оценка гидрогеологических параметров по данным геофизических исследований в скважинах: Методическое руководство / А. В. Беляшов [и др.]. — Минск: Фонды геофизической экспедиции, 2008. — 43 с.
7. McDonough, W. F. The Composition of the Earth / W. F. McDonough, S.-s. Sun // Chem. Geol. — 1995. — Vol. 120, № 1. — P. 223–253.
8. Адушкин, В. В. Поля почвенного радона в восточной части Балтийского щита / В. В. Адушкин, И. И. Дивков, С. А. Кожухов // Динамические процессы в системе внутренних внешних взаимодействующих геосфер / В. В. Адушкин, И. И. Дивков, С. А. Кожухов. — М.: Геос, 2005. — С. 173–178.
9. Выполнение комплексной геофизической съемки на площадке возможного размещения АЭС и прогноз миграции радионуклидов с подземными водами (Шкловско-Горещкий пункт, Кукшиновская площадка): Отчет о НИР (закл.) / Бел. геофиз. экспед; рук. темы А. В. Гаврилов. — Минск, 2008. — 257 с.
10. Akerblom, G. The Radon Book / G. Akerblom, R. Claven-sjo. — Stockholm : SSM, 1994. — 256 p.

Поступила 18.03.2015

## СЛУЧАЙ ИЗ КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

УДК 616.127-005.8:616-08-07:616-072.7

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА ГЕМОДИНАМИКИ У ПАЦИЕНТА С КАРДИОГЕННЫМ ШОКОМ

С. А. Точило, Ю. Г. Никифорова, М. В. Резников

Могилевская областная больница

**Цель:** проанализировать собственный опыт проведения интенсивной терапии у пациента в состоянии кардиогенного шока под контролем инвазивного мониторинга гемодинамики.