

## ОЦЕНКА, АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИАЦИОННОЙ ЭКОЛОГИИ В ПЕНЗЕНСКОМ КРАЕ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Загрязнение окружающей среды радионуклидами ныне представляет собой одну из наиболее зловещих опасностей экологического характера. В Пензенском крае проблема обеспечения радиационной безопасности особо актуальна по следующим причинам. Многие территории Пензенской области пострадали после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Во многих районах области наблюдается постоянная эксхалляция (истечение) радона из земных недр. После эпохи испытания ядерного оружия в атмосфере почва во многих районах области загрязнилась тяжелыми долгоживущими радионуклидами (например, америцием-241 с периодом полураспада около 500 лет). Целью данной работы является мониторинг биосферы на наличие в ней вышеперечисленных радионуклидов в пределах Пензенской области.

*Материалы и методы.* Для экспериментальных исследований применялась высокоточная радиометрическая аппаратура: спектрометрический комплекс СКС-07П, предназначенный для измерения активности образцов по альфа-, бета-, гамма- и рентгеновскому излучениям, оценки степени обогащения урана и изотопного состава плутония в геометрии, отличной от точечной, автоматизированной обработки результатов измерения и оценки, хранения и вывода информации; радиометр радона РРА-01М-01, предназначенный для экспрессных измерений объемной активности радона в воздухе, воде, почвах.

*Результаты.* Разработана детерминированная модель процессов переноса радона в атмосферном воздухе и произведена проверка согласия между модельными и экспериментальными данными. Данная модель основана на решении уравнений, в которых показана функциональная зависимость эксхалляции радона от характеристик грунтов и происходящих в них физических процессов. Разработана статистическая модель процессов переноса радона. В качестве сглаживающего распределения следует принять вторую или третью реализацию смещенного трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко. Использование этого распределения в качестве сглаживающего указывает на существование в летний период сравнительно большого источника объемной активности радона, расположенного на исследуемой территории г. Пензы.

*Выводы.* На территории Пензенской области выявлены зоны, в пределах которых превышен предельно допустимый уровень ионизирующих излучений. В настоящее время повышенная активность  $^{241}\text{Am}$  наблюдается по западному направлению. Цель дальнейших исследований состоит в получении наблюдательной информации высокой достоверности об уровнях ионизирующего излучения техногенного и естественного происхождения в почвах, атмосфере, водных объектах и растительности; на ее основе будут разрабатываться практические рекомендации и прогнозы радиационной обстановки, направленные на защиту человека от проникающей радиации.

**Ключевые слова:** идентификация несимметричных распределений, энтропийный коэффициент, контрэксцесс, объемная активность радона, топографическая классификация симметричных распределений, логарифмически нормальное распределение.

*O. A. Barsukov, A. Yu. Kazakov, S. V. Tertychnaya, O. Yu. Totskiy*

## ASSESSMENT, ANALYSIS AND PROSPECTS OF RESEARCHING RADIATION ECOLOGY IN PENZA REGION

### Abstract.

*Background.* Environmental pollution with radionuclides nowadays appears to be one of the most dangerous ecological threats. In Penza region the problem of radiation safety is especially urgent due to the below mentioned reasons. Many areas of Penza region have been harmed by the Chernobyl NPS disaster. In many districts there is registered a constant outflow of radon from the subsoil. After the age of nuclear weapon testing the soil in many districts of the region has been polluted with heavy long-living radionuclides (for example, with americium-241 with the half-life period around 500 years). The aim of the article is to monitor the biosphere for the presence of the mentioned radionuclides therein within Penza region.

*Materials and methods.* For the experimental research the authors used a set of high-precision radiometric equipment: a spectrometric complex SKS-07P, designed to measure samples' activity by alpha-, beta- and x-ray radiation, to estimate a degree of uranium enrichment and plutonium isotopic composition in geometry, different from punctual, to automatically process the results of measurement and estimation, to store and input the information; a radon radiometer RRA-01-M-01, designed for experimental measurement of radon volumetric activity in the air, water, soils.

*Results.* The authors developed a deterministic model of radon shifting in the air and checked the concordance between model and experimental data. The given model is based on solution of equations that reflect a functional dependence of radon outflow on properties of the soil and physical processes taking place therein. The researchers developed a statistic model of radon shifting. As a smoothed distribution one should accept the second and third realization of a translated three-parameter Weibull-Gnedenko distribution. The use of the said distribution as a smoothed one denotes that in summer there exists a significantly large source of radon volumetric activity, located in the Penza city territory under investigation.

*Conclusions.* In the Penza region territory the authors have revealed the zones with an exceeding level of ionizing radiation. At the present time an increased activity of  $^{241}\text{Am}$  is being observed in the western direction. The aim of further researches is to obtain high credibility information on levels of ionizing radiation of anthropogenic and natural origin in soils, atmosphere, water bodies and vegetation; on the basis thereof there will be developed practical recommendations and forecasts of the radiological situation, devoted to protect population against penetrating radiation.

**Key words:** identification of nonsymmetric distributions, entropy coefficient, antikurtosis, volumetric (mass) activity of radon, topographical classification of symmetrical distributions, logarithmic normal distribution

### Введение

Загрязнение окружающей среды радионуклидами ныне представляет собой одну из наиболее зловещих опасностей экологического характера. Действительно, во многих странах мира радиационная обстановка складывается крайне неблагоприятно. Это касается как земельных сельскохозяйственных районов и земельных угодий, занимающих сотни тысяч гектар, так и обширной сети водных источников, многие из которых практически навсегда выведены из строя. Воздействие этих аварий, носящих масштаб катастроф, неко-

торые крупные экологи (например, В. Ф. Протасов и А. В. Молчанов) рассматривают как «малую ядерную войну». В самом деле, после Чернобыльской катастрофы в 14 областях России (среди них и Пензенской) и в Мордовии образовались многочисленные зоны радиоактивной зараженности общей площадью 55,2 тыс. км<sup>2</sup>. Оказались загрязненными огромные территории в окрестностях государства, включая и страны Западной Европы.

В Пензенском крае проблема обеспечения радиационной безопасности особо актуальна по следующим причинам:

1. Многие территории Пензенской области пострадали после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

2. Во многих районах области наблюдается постоянная эксхалация (истечение) радона из земных недр; инертный газ радон  $\alpha$ -радиоактивен и при попадании в организм человека провоцирует неблагоприятные физиологические последствия (в первую очередь образование раковых клеток).

3. После эпохи испытания ядерного оружия в атмосфере почва во многих районах области загрязнилась тяжелыми долгоживущими радионуклидами (например, америцием-241 с периодом полураспада около 500 лет).

4. По железнодорожным магистралям области осуществляется транзит радиационно опасных грузов, в том числе особо опасных высокоактивных отходов (ВАО).

5. Из сопредельных территорий (особенно во время лесных пожаров) возможен трансграничный перенос радиоактивных изотопов.

Принимая во внимание перечисленные обстоятельства, с начала 90-х гг. прошлого столетия в Пензе в порядке частной инициативы была создана группа специалистов – физиков и биологов, осуществляющих на общественных началах радиационный мониторинг биосферы в пределах Пензенской области. Теоретические и экспериментальные исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 15.101.98. К настоящему времени у коллектива накоплен большой опыт выполнения исследований параметров радионуклидов, загрязняющих природную среду.

### **Материалы и методы исследования**

Для экспериментальных исследований применялась высокоточная радиометрическая аппаратура: спектрометрический комплекс СКС-07П, предназначенный для измерения активности образцов по альфа-, бета-, гамма- и рентгеновскому излучениям, оценки степени обогащения урана и изотопного состава плутония в геометрии, отличной от точечной, автоматизированной обработки результатов измерения и оценки, хранения и вывода информации; радиометр радона РРА-01М-01, предназначенный для экспрессных измерений объемной активности (ОА) радона в воздухе, воде, почвах.

На протяжении последних 20 лет проведены следующие исследования:

1. Накоплен банк данных о содержании в окружающей среде цезия-137, калия-40, радия-226, тория-232, америция-241.

Суммарная активность составляет 0,14 Кюри/км<sup>2</sup>, что меньше предельно-допустимой концентрации (ПДК), равной 1 Кюри/км<sup>2</sup>. В 90-х гг. прошлого столетия на обширных территориях области активность радионуклидов превышала указанное значение ПДК, но за счет естественного распада и рассеяния суммарная активность закономерно уменьшается. Однако на отдельных

достаточно протяженных участках активность до сих пор превышает уровень в 1 Кюри/км<sup>2</sup>. Такие участки встречаются как в самой Пензе, так и в Лунинском и Никольском районах.

2. Начиная с 2008 г. систематически изучается удельная активность большого числа продуктов питания (мясные, рыбные изделия, крупы, хлеб, овощи, молочные изделия, вода). Определяются количественные оценки содержания основных загрязнителей: <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>241</sup>Am. Согласно этим данным удельная активность более радиационно опасного радионуклида <sup>241</sup>Am у многих продуктов питания (хлеб, картофель, рыба) превышает удельную активность менее опасного в радиационном отношении <sup>137</sup>Cs.

3. Установлено, что у многих видов грибов имеет место аккумуляция радионуклидов. В большом числе измерений удельная активность <sup>241</sup>Am существенно превышает активность <sup>137</sup>Cs.

Более подробные исследования съедобных грибов, произрастающих на пензенских сельских просторах, позволяют разделить их на три следующие категории:

а) безопасные в радиационном отношении грибы. Их особенности: не накапливают <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am; не адсорбируют либо слабо аккумулируют <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th. К грибам этой категории относятся: опенок осенний, лисичка настоящая, груздь настоящий, волнушка розовая и, наконец, «царский гриб» – белый;

б) сравнительно слаборadioактивные грибы. К ним относятся: подосиновик желто-бурый, масленок зернистый, масленок поздний, подберезовик обыкновенный;

в) особо опасные в радиационном отношении грибы. Они аккумулируют в сравнительно большом числе <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>241</sup>Am. К ним относятся: свинушка тонкая, польский гриб, зеленушка, сыроежка светло-желтая, козляк и паутинник желтый. Употреблять в пищу перечисленные грибы категорически не рекомендуется.

4. Открыт эффект участия радионуклида в обменных процессах в растениях. Работа проводилась на протяжении нескольких последних лет на образцах березы, осины, клена, дуба и липы. В течение вегетационного периода эти растения избирательно поглощают нерадиоактивный <sup>39</sup>K, предпочитая его радиоактивному <sup>40</sup>K. В течение вегетационного периода растения постепенно обогащаются <sup>39</sup>K; ближе к осени этот радионуклид накапливает в листьях, а его доля в древесине уменьшается. Деревья «избавляются» от <sup>39</sup>K при опадении листьев осенью.

Описанное явление противоречит существующему в биохимии и физиологии представлению о независимости физиологических процессов от изотопного состава элементов, участвующих в обменных процессах любого биологического объекта. Предполагается в последующем провести аналогичное исследование на животных.

5. Найдены места эксхалации инертного газа радона из земных недр в местах предполагаемых геологических разъемов (район Западной поляны, поселок Ахуны и др.) В отдельных местах повышение уровня радона достигает 400–600 Бк/м<sup>3</sup> (что втрое выше ПДК радона внутри помещений и вдвое выше, чем в свободной атмосфере).

Содержится радон и в магистральном газе, повсеместно используемом для отопления и приготовления пищи. Установлены суточные вариации ра-

дона. Решающим фактором в формировании суточных вариаций радона является вертикальный турбулентный обмен в атмосфере, который приводит к падению активности радона в приземном слое атмосферы. Турбулентный обмен захватывает слой атмосферы высотой до нескольких сотен метров и при этом коэффициент турбулентности может изменяться на 3–4 порядка. Поэтому роль этого фактора в формировании суточных вариаций содержания радона в приземном слое воздуха весьма значительна.

Временные вариации радона в атмосферном воздухе имеют непосредственное отношение к его вариациям в воздухе зданий. Суточные колебания активности радона в здании повторяют колебания концентрации радона вне здания.

При изучении влияния строительных материалов на концентрацию радона в воздухе жилых и общественных зданий г. Пензы было исследовано более 4000 строений градостроительного комплекса. В табл. 1 даны средние и максимальные значения результатов измерения ОА радона в жилых помещениях г. Пензы и окрестных населенных пунктах, построенных из таких материалов, как керамический и силикатный кирпич.

Таблица 1  
Значение ОА радона в строительных материалах помещений

Материалы		Среднее значение ОА, Бк/м <sup>3</sup>	Среднее активное отклонение	Максимальное значение ОА, Бк/м <sup>3</sup>
Керамический кирпич	Зима	110,4	20,2	326
	Лето	108,8	30,3	320
Силикатный кирпич	Зима	130,1	30,4	331
	Лето	125,3	29,9	321

Согласно этим данным значения ОА при использовании керамического кирпича значительно меньше, чем для силикатного кирпича. Еще меньше значения ОА имеют место для строений из дерева.

### Результаты моделирования

Разработана детерминированная модель процессов переноса радона в атмосферном воздухе и произведена проверка согласия между модельными и экспериментальными данными (рис. 1). Данная модель основана на решении уравнений, в которых показана функциональная зависимость эксхалляции радона от характеристик грунтов и происходящих в них физических процессов. Модель по существу может рассматриваться в качестве принципиальной схемы природного явления. В настоящее время трудность применения этой модели для прогнозирования интенсивности эксхалляции радона из грунта связана с недостаточным количеством данных для характеристики вероятности событий и свойств, определяющих исследуемую ситуацию. По мере накопления фактических данных применение этой модели будет весьма продуктивным.

На рис. 1 данные моделирования (сплошные кривые) и результаты наблюдений (точки) сравниваются между собой. Те и другие данные нормированы на единицу (ось  $y$ ). По горизонтали отложено расстояние от источни-

ка (ось  $x$ ). Приведенное сопоставление показывает удовлетворительное согласие теоретических и экспериментальных данных на всех трех участках измерений.

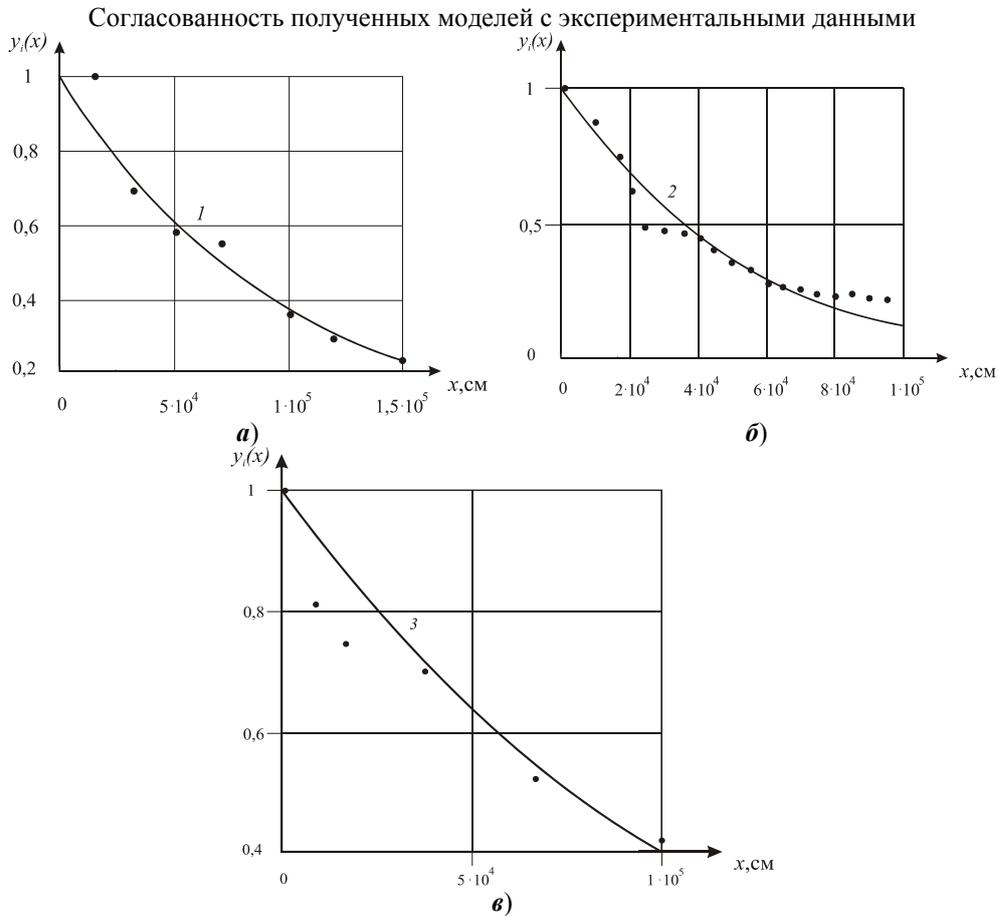


Рис. 1. Экспериментальные данные и результаты моделирования переноса радона от бесконечного плоского источника: **а** – арбековский лес; **б** – район Западной поляны; **в** – район реки Суры

Разработана статистическая модель процессов переноса радона. При анализе результатов радоновых обследований традиционно принято использовать свойства логнормального распределения. Существование мощного локального источника на исследуемой территории приводит к смещению регистрируемых значения ОА радона в область больших значений. В этом случае в качестве сглаживающего распределения наиболее применимо смещенное трехпараметрическое распределение Вейбулла – Гнеденко, функция которого имеет вид

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left|\frac{x - x_0}{a}\right|^c\right),$$

где  $a$  – параметр масштаба;  $c$  – параметр формы;  $x_0$  – смещение.

Рассмотрим возможность описания результатов измерения ОА радона с помощью смещенного трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко, позволяющего выявить природу и характер источника эксхалации. В связи с тем, что оценка параметров распределения очень сильно зависит от метода оценки его параметров, появляется необходимость последующей идентификации соответствия полученной реализации сглаживающей функции исходной выборке значений. Идентификация асимметричного распределения Вейбулла – Гнеденко состоит в преобразовании распределения к симметричному двустороннему распределению Лапласа и последующим его анализом с помощью топографической диаграммы, которая построена в осях энтропийного коэффициента  $k_3$  и контрэксцесса  $\chi$  для симметричных распределений (рис. 2).

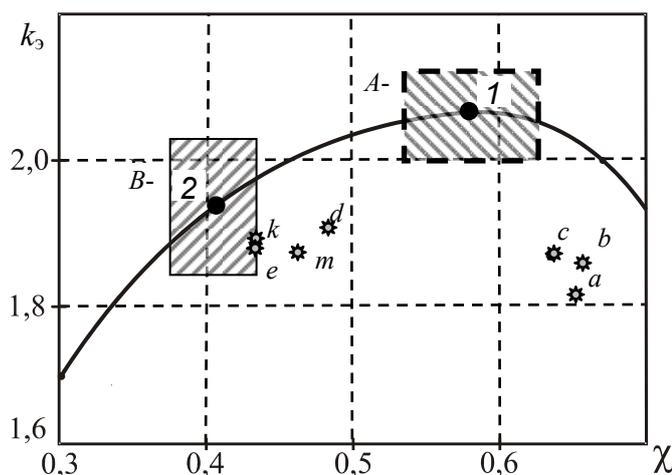


Рис. 2. Топографическая диаграмма распределений

Для классификации распределения используют безразмерную величину, называемую контрэксцессом, изменяющуюся для любых распределений от 0 до 1:

$$\chi = 1/\sqrt{\varepsilon},$$

где  $\varepsilon$  – эксцесс, характеризует острровершинность и протяженность спадов распределения, принимает значения от 1 до  $\infty$ .

Энтропийный коэффициент  $k_3$  равен отношению половины энтропийного интервала  $2\Delta$ , к среднему квадратическому отклонению величины:

$$k_3 = \frac{\Delta z \cdot n}{2\sigma} \cdot 10^{-\frac{1}{n} \sum_{j=1}^N n_j \lg n_j},$$

где  $\Delta z$  – ширина интервала гистограммы.

Возможность использования подобного подхода для идентификации смещенного распределения Вейбулла – Гнеденко связана с преобразованием выборки результатов в соответствии с выражением

$$y = - \left| \frac{x - \bar{x}}{a} \right|^c$$

к показательному (экспоненциальному) распределению вида  $F(y) = 1 - e^{-\lambda y}$ . Здесь  $\lambda$  – параметр масштаба для показательного распределения  $\lambda = 1$ .

В результате симметричного отражения положительных значений результатов  $y_i$  относительно нулевого значения величины ( $y_0 = 0$ ) выборка преобразуется к симметричному двухстороннему показательному распределению Лапласа вида

$$F(z) = \begin{cases} 1 - 0,5 \cdot e^{-\lambda z} & | z \geq 0, \\ 0,5 \cdot e^{-\lambda z} & | z \leq 0. \end{cases}$$

На топографической диаграмме, показанной на рис. 2, распределению Лапласа отвечает точка 2, для которой значение контрэксцесса  $\chi$  и энтропийного коэффициента  $k_z$  соответственно равны 0,408 и 1,92. Следовательно, если выборка результатов после симметричного отражения данных относительно нулевого значения соответствует распределению Лапласа, то исходная выборка результатов измерения радона  $x_i$  будет соответствовать смещенному распределению Вейбулла – Гнеденко. Интервалы неопределенности  $\Delta_\chi$  и  $\Delta_k$  для оценки распределения Лапласа с эксцессом  $\epsilon$ , равным 2,45, рассчитанные согласно выражению, равны 0,03 и 0,1 соответственно.

Параметры сглаживающего распределения при аппроксимации выборки достаточно сильно зависят от метода оценки параметров распределения. Поэтому при проведении анализа для каждого распределения рассматривались несколько возможных реализаций, отличающихся методами оценки параметров распределений. Для логарифмического нормального распределения параметр масштаба  $m$  и параметр формы  $a$  оценивались тремя различными методами: 1) моментов с использованием среднего значения и дисперсии; 2) максимального правдоподобия; 3) методом оценки, основанным на выборочных квантилях.

Реализация сглаживающего логарифмически нормального распределения, для которой оценка параметров получена следующим методом:  $a$  – моментов с использованием среднего значения и дисперсии;  $b$  – максимального правдоподобия;  $c$  – основанном на выборочных квантилях.

Реализация сглаживающего трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко, для которой оценка параметров получена методами:  $d$  – моментов с использованием среднего значения и медианы;  $e$  – моментов с использованием эксцесса;  $k$  – основанный на выборочных квантилях;  $m$  – максимального правдоподобия;  $1$  и  $2$  – местоположение используемых для идентификации симметричных нормального и показательного экспоненциального распределений соответственно;  $A$  и  $B$  – области оценок  $\chi$  и  $k$ , принятия гипотезы нормального и показательного экспоненциального распределений соответственно.

Параметры формы  $c$ , масштаба  $a$  и смещения (сдвига)  $x_0$  смещенного трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко оценены также

с помощью четырех различных методов: 1) моментов, основанном на разности среднего значения и медианы; 2) моментов, основанном на коэффициенте эксцесса; 3) оценки параметров, основанном на выборочных квантилях; 4) максимального правдоподобия.

Полученный результат позволяет утверждать, что из всех рассматриваемых в работе распределений наиболее вероятна гипотеза смещенного трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко в качестве сглаживающего распределения для выборок измерения ОА радона. Причем из четырех полученных реализаций сглаживающего трехпараметрического распределения следует выделить вторую и третью (на топографической диаграмме обозначены буквами  $k$  и  $e$  соответственно), параметры которых оценивались методом моментов с использованием эксцесса и методом выборочных квантилей. Для этих реализаций при доверительной вероятности 0,9 совместные оценки контрэксцесса  $\chi$  и энтропийного коэффициента  $k_3$  расположены на границе выделенной области значений точки 2 топографической диаграммы.

На рис. 3 дана гистограмма плотностей частот распределения для результатов измерения ОА радона летнего периода измерений и типичные реализации сглаживающих логнормального распределения, полученные различными методами оценки параметров. На рис. 4 дана гистограмма плотностей частот распределения для результатов измерения ОА радона летнего периода и типичные реализации сглаживающих смещенного трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко.

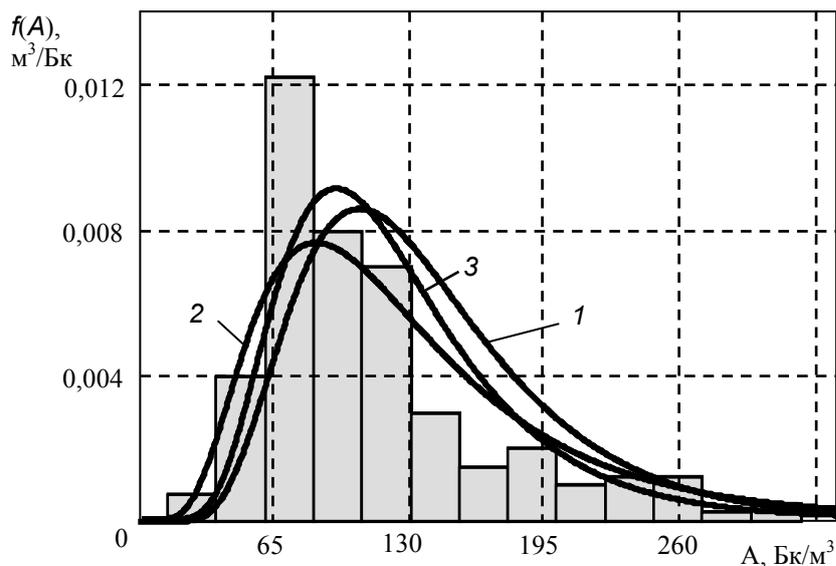


Рис. 3. Гистограмма плотностей частот распределения ОА радона и сглаживающие реализации логарифмического нормального распределения. Оценка параметров реализации распределения проведена методом: 1 – моментов; 2 – максимального правдоподобия; 3 – основанным на выборочных квантилях

### Обсуждения

Таким образом, из проведенной идентификации распределений следует, что в качестве сглаживающего распределения следует принять вторую или

третью реализацию смещенного трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко, имеющую близкое значение контрэксцесса. Использование этого распределения в качестве сглаживающего указывает на существование в летний период сравнительно большого источника ОА радона, расположенного на исследуемой территории г. Пензы. Усреднение параметра смещения для различных реализаций распределения Вейбулла – Гнеденко позволяет также оценить верхнее возможное значение объемной активности источника. Можно предположить, что таким источником может быть существующий на территории г. Пензы геологический разлом.

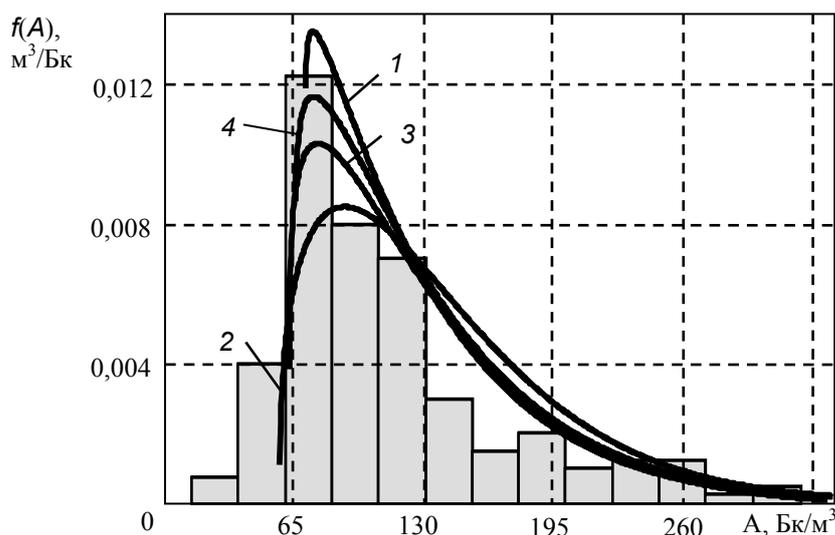


Рис. 4. Гистограмма плотностей частот распределения ОА радона и сглаживающие реализации смещенного трехпараметрического распределения Вейбулла – Гнеденко. Оценка параметров реализации распределения проведена методом: 1 – основанном на разности среднего значения и медианы; 2 – основанном на коэффициенте эксцесса; 3 – оценки параметров, основанном на выборочных квантилях; 4 – максимального правдоподобия

Нами был получен доступ в областной медицинский архив. Прежде чем анализировать полученные и обработанные медицинские данные, необходимо остановиться на вопросе, почему именно радон считается опасным для вдыхающего этот газ человека.

Повышенная радиационная опасность радона объясняется следующими причинами: широкое распространение,  $\alpha$ -распад с образованием короткоживущих  $\alpha$ -радиоактивных элементов. Альфа-частицы обладают, как известно, очень высокой ионизирующей способностью. Проникая при дыхании внутрь организма и ионизируя клетки,  $\alpha$ -частицы способствуют интенсивному разрушению в первую очередь тканей легкого, а затем и других органов (печени, почек и пр.).

На рис. 5 приведен сводный график динамики злокачественных образований органов дыхания в зависимости от возраста пациентов. Существенный рост болезни начинается с возрастом людей от 35 лет и быстро возрастает для более пожилых лиц.

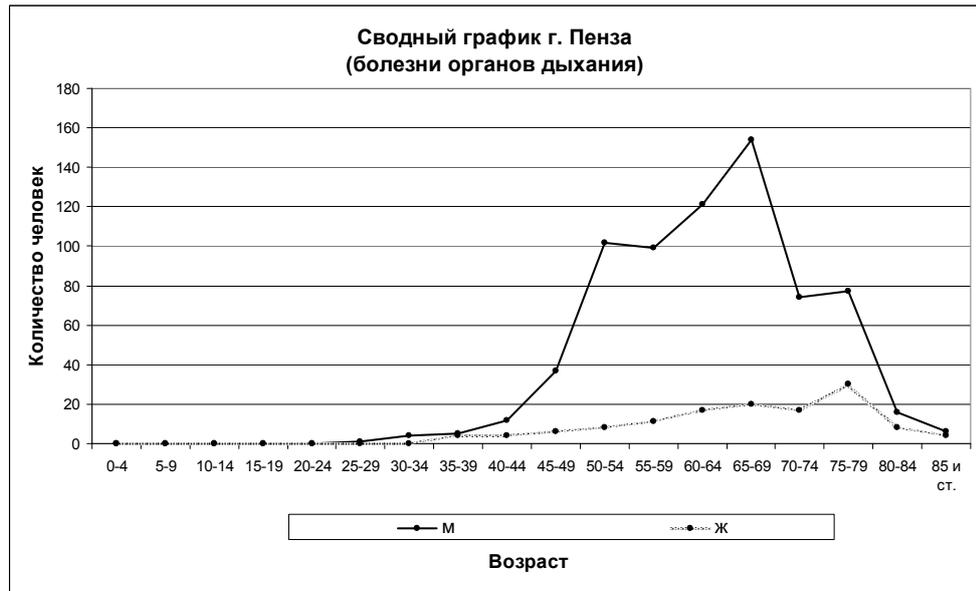


Рис. 5. Обобщенные данные о количестве больных

По мнению онкологов, главной причиной болезней органов дыхания является курение. Специалисты по радиационной экологии полагают, что курение десятикратно усугубляет опасность радонового облучения. Дело в том, что табачный дым образует в воздухе мелкодисперсные аэрозольные частицы с большой суммарной площадью поверхности. Такие частицы могут сорбировать радионуклиды и затем транспортировать в бронхи и легкие, резко повышая локальный уровень облучения клеток.

### Заключение

На территории Пензенской области выявлены зоны, в пределах которых превышен предельно-допустимый уровень ионизирующих излучений. В настоящее время повышенная активность  $^{241}\text{Am}$  наблюдается по западному направлению.

Результаты перечисленных исследований нашли широкое отражение в научной печати и научных конференциях – отечественных и зарубежных. Число статей и докладов достигает многих десятков. Написана монография, посвященная радиационной экологии, поддержанная грантом РФФИ, эта тема отражена также в учебном пособии для вузов РФ. На темы радиационной экологии защищено свыше 60 дипломных работ. В престижных научных организациях г. Москвы защищены две кандидатские диссертации: одна из них на тему об эксгаляции радона и его воздействии на здоровье населения Пензенского края, а вторая посвящена проблеме аккумуляции радионуклидов грибами в условиях лесных экосистем Пензенской области.

Цель дальнейших исследований состоит в получении наблюдательной информации высокой достоверности об уровнях ионизирующего излучения техногенного и естественного происхождения в почвах, атмосфере, водных объектах и растительности; на ее основе будут разрабатываться практические

рекомендации и прогнозы радиационной обстановки, направленные на защиту человека от проникающей радиации.

Перечислим конкретные направления предполагаемых исследований.

- Регулярные наблюдения радиационного состояния почв, растительности, водных бассейнов на территории Пензенской области.
- Систематическое проведение радиологической экспертизы:
  - а) строительных карьеров для извлечения песка, щебня, глины и пр.;
  - б) строительных площадок;
  - в) строительных материалов – кирпичей различной сортности, бетонных панелей и пр.
- Радиационный контроль продуктов питания в Пензенском регионе.
- Поиск источников выхода радона из геологических структур.
- Мониторинг радона в почвах, жилых домах и других объектах инфраструктуры Пензенской области.
- Оценка риска облучения радоном населения.
- Изучение динамики поступления в Пензенское водохранилище вредных радиоактивных примесей из рек притоков.
- Изучение процессов миграции радионуклидов, включая  $^{241}\text{Am}$ , по цепочке почва – растение – животное – человек.
- Оценка медико-биологических последствий воздействия радионуклидов на организм человека, и на этой основе разработка рекомендаций по снижению риска, связанного с облучением.
- Издание прогнозов радиационной обстановки в Пензенской области на основе выполняемых Центром наблюдений с привлечением необходимых мировых геофизических данных.

#### Список литературы

1. **Александрова, А. П.** Ядерная энергетика, человек и окружающая среда / А. П. Александрова. – 2 изд. – М., 1984. – 54 с.
2. **Барсуков, О. А.** Радиоактивность продуктов питания и способы ее снижения / О. А. Барсуков, А. Ю. Казаков, О. Ю. Тоцкий // Известия Пензенского государственного педагогического университета. – 2012. – № 30.
3. **Барсуков, О. А.** Радиационная экология / О. А. Барсуков, К. А. Барсуков. – М. : Научный мир, 2003. – 253 с.
4. **Барсуков, О. А.** Мероприятия и оборудование, необходимое для решения проблем радиационного мониторинга / О. А. Барсуков, А. Ю. Казаков, О. Ю. Тоцкий // Известия Пензенского государственного педагогического университета. – 2012. – № 30.
5. **Барсуков, О. А.** Проблема накопления радионуклидов плодовыми телами съедобных грибов в условиях Пензенской области / О. А. Барсуков, М. А. Плотников // Образование, наука, практика: инновационный аспект. – Пенза, 2008.
6. **Барсуков, О. А.** Проблема накопления радионуклидов лекарственными грибами в лесных сообществах Пензенской области / О. А. Барсуков, А. И. Иванов, М. А. Плотников // Нива Поволжья. – 2011.
7. **Барсуков, О. А.** Инновационное моделирование процесса переноса радона в воздухе, испускаемого источниками различной конфигурации / О. А. Барсуков, С. В. Тертычная // Труды XV Междунар. симпозиума (12–22 сентября 2006 г.). – Ираклион, 2006.
8. **Василенко О. И.** Радиация / О. И. Василенко, Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов и др. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1996. – 225 с.

9. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. Справочник / под ред. Л. А. Баженова и др. – Л. : Химия, 1990. – 464 с.
10. Кузин, А. М. Природный радиационный фон и его значение для биосферы Земли / А. М. Кузин. – М. : Наука, 1991. – 346 с.
11. Очкин, А. В. Введение в радиоэкологию : учеб. пособие для вузов / А. В. Очкин, Н. С. Бабаев, Э. П. Магмедбеков. – М. : Издательство АТ, 2003. – 254 с.
12. Перцов, Л. А. Ионизирующее излучение биосферы / Л. А. Перцов. – М. : Атомиздат, 1973. – 356 с.
13. Рябцев, И. А. Естественная радиоактивность / И. А. Рябцев ; под ред. А. А. Ярошинской. – М., 1996. – 80 с.
14. Полосин, В. Г. Изучение составляющих источника радона на основе анализа статистических результатов измерения его объемной активности / В. Г. Полосин, С. В. Тертычная // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2008. – № 4. – С. 71–78.
15. Полосин, В. Г. Анализ результатов измерений объемной активности радона с помощью распределения Вейбулла – Гнеденко / В. Г. Полосин, С. В. Тертычная // Известия высших учебных заведений Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2009. – № 1 (9). – С. 127–133.

### *References*

1. Aleksandrova A. P. *Yadernaya energetika, chelovek i okruzhayushchaya sreda* [Nuclear power engineering, people and environment]. 2nd edition. Moscow, 1984, 54 p.
2. Barsukov O. A., Kazakov A. Yu., Totkiy O. Yu. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Proceedings of Penza State Pedagogical University]. 2012, no. 30.
3. Barsukov O. A., Barsukov K. A. *Radiatsionnaya ekologiya* [Radiation ecology]. Moscow: Nauchnyy mir, 2003, 253 p.
4. Barsukov O. A., Kazakov A. Yu., Totkiy O. Yu. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Proceedings of Penza State Pedagogical University]. 2012, no. 30.
5. Barsukov O. A., Plotnikov M. A. *Obrazovanie, nauka, praktika: innovatsionnyy aspekt* [Education, science, practice: innovative aspect]. Penza, 2008.
6. Barsukov O. A., Ivanov A. I., Plotnikov M. A. *Niva Povolzh'ya* [Volga region field]. 2011.
7. Barsukov O. A., Tertychnaya S. V. *Trudy XV Mezhdunar. simpoziuma (12–22 sentyabrya 2006 g.)* [Proceedings of XV International symposium (12–22 September 2006)]. Iraklion, 2006.
8. Vasilenko O. I., Ishkhanov B. S., Kapitonov I. M. et al. *Radiatsiya* [Radiation]. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1996, 225 p.
9. *Vrednye khimicheskie veshchestva. Radioaktivnye veshchestva. Spravochnik* [Hazardous chemical substances. Radioactive substances]. Ed. by L. A. Bazhenov et al. Leningrad: Khimiya, 1990, 464 p.
10. Kuzin A. M. *Prirodnyy radiatsionnyy fon i ego znachenie dlya biosfery Zemli* [Natural background radiation and its importance for the Earth's biosphere]. Moscow: Nauka, 1991, 346 p.
11. Ochkin A. V., Babaev N. S., Magmedbekov E. P. *Vvedenie v radioekologiyu: ucheb. posobie dlya vuzov* [Introduction into radioecology: tutorial for universities]. Moscow: Izdatel'stvo AT, 2003, 254 p.
12. Pertsov L. A. *Ioniziruyushchee izluchenie biosfery* [Biosphere's ionizing radiation]. Moscow: Atomizdat, 1973, 356 p.
13. Ryabtsev I. A. *Estestvennaya radioaktivnost'* [Natural radioactivity]. Moscow, 1996, 80 p.

14. Polosin V. G., Tertychnaya S. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Fiziko-matematicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Physical and mathematical sciences]. 2008, no. 4, pp. 71–78.
15. Polosin V. G., Tertychnaya S. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Povolzhskiy region. Fiziko-matematicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Physical and mathematical sciences]. 2009, no. 1 (9), pp. 127–133.

---

**Барсуков Олег Александрович**

доктор физико-математических наук,  
профессор, кафедра общей физики  
и методики обучения физике,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: of@pnzgu.ru

**Barsukov Oleg Aleksandrovich**

Doctor of physical and mathematical  
sciences, professor, sub-department  
of general physics and physics teaching  
technique, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Казаков Алексей Юрьевич**

кандидат физико-математических наук,  
заведующий кафедрой общей физики  
и методики обучения физике,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: of@pnzgu.ru

**Kazakov Aleksey Yur'evich**

Candidate of physical and mathematical  
sciences, head of sub-department of general  
physics and physics teaching technique,  
Penza State University (40 Krasnaya  
street, Penza, Russia)

**Тертычная Светлана Вячеславовна**

кандидат технических наук, заведующая  
лабораторией общей физики и методики  
обучения физике, Пензенский  
государственный университет (Россия,  
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: of@pnzgu.ru

**Tertychnaya Svetlana Vyacheslavovna**

Candidate of engineering sciences, head  
of laboratory of general physics and physics  
teaching technique, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Тоцкий Олег Юрьевич**

предприниматель, глава корпорации  
Тоцкого (Россия, г. Пенза, ул. Лядова, 2)

E-mail: of@pnzgu.ru

**Totskiy Oleg Yur'evich**

Entrepreneur, head of Totsky corporation  
(2 Lyadova street, Penza, Russia)

---

УДК 519.24:546.296

**Барсуков, О. А.**

**Оценка, анализ и перспективы исследований радиационной экологии в Пензенском крае** / О. А. Барсуков, А. Ю. Казаков, С. В. Тертычная, О. Ю. Тоцкий // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2015. – № 2 (34). – С. 176–189.