

**УДК 631.95**

**АНАЛИЗ НЕОДНОРОДНОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ  
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В ЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВАХ**

*Казачёнок Н.Н.*

*Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь*

Keywords: contamination, soil, agricultural products, statistical analysis

Summary: This paper presents the results of the analysis of long-term investigations of radioactive contamination of the soil and the production of household farms in the southern Urals. Heterogeneity of radioactive contamination creates problems for statistical analysis.

Для планирования хозяйственной деятельности на загрязненной территории и организации реабилитационных мероприятий в зоне аварий необходимо прогнозирование развития экологической ситуации при различных сценариях природопользования и реабилитации. Современные методы прогнозирования поведения экосистем основаны на статистическом анализе ретроспективных данных и методах экстраполяции обнаруженных зависимостей. Однако в реальных условиях общепринятые методы статистического анализа могут оказаться непригодными. Это связано, в частности, с неоднородностью загрязнения территорий.

Неоднородность радиоактивного загрязнения, значительное варьирование уровней загрязнения почвы и растительности отмечали как на территории Беларуси [1], так и на Южном Урале.

Уже на первом этапе исследовательских работ на территории Южно-Уральской биогеохимической провинции техногенных радиоактивных изотопов (ЮУПТРИ) было отмечено, что распределения значений активностей радионуклидов в природных объектах и продуктах питания не соответствуют закону Гаусса.

В.П. Шамовым с соавт. в первые годы после аварии на ПО «Маяк» было высказано предположение, что при локальном загрязнении территории наиболее вероятным законом распределения вероятностей содержания  $^{90}\text{Sr}$  в объектах внешней среды, организме животных и человека является логнормальный, что связано с логнормальным распределением этого изотопа в почве. Такое распределение было установлено для почв сельскохозяйственных угодий [2].

В ходе осуществления радиационных съемок и других исследований было получено множество доказательств локальных особенностей распределения плотности радиоактивного загрязнения, связанных с влиянием мезо- и микроландшафта и других природных факторов. Проведенными ОНИС исследованиями показано, что влияние леса на макроструктуру следа не ощущается, но достаточно заметно в мезо- и микроландшафтом плане, даже для отдельно стоящих деревьев [3].

Уровни загрязнения почвы радионуклидами в пределах одного населенного пункта могут сильно колебаться. По-видимому, это связано с многолетним внесением навоза, полученного от коров, которым скармливали загрязненное сено. Так, в н.п. Караболка на приусадебном участке по улице Школьная, 20 активность  $^{90}\text{Sr}$  в сене составила 56,1 Бк/кг, в почве – 279 Бк/кг. На участке по улице Школьная 11-1 активность  $^{90}\text{Sr}$  в пробе сена отобранной в апреле 2011 г. – 2524 Бк/кг, в пробе, отобранной в июне 2011 г. – 1709 Бк/кг. В 5 пробах почвы, отобранных «конвертом» на этом участке активность  $^{90}\text{Sr}$  была от 239 до 820 Бк/кг. Хозяева признались, что косили сено для коровы на территории ВУРС (болото Бугай). На соседнем участке по ул. Школьная, 26, находящемся через дорогу, в настоящее время нет коровы. Активность  $^{90}\text{Sr}$  в почве здесь – 134 Бк/кг [4].

При анализе базы данных Уральского научно-практического центра радиационной медицины (УНПЦ РМ) оказалось, что, при обследовании населенного пункта, подвергшегося радиоактивному загрязнению в результате деятельности ПО «Маяк», в большинстве случаев активность радионуклидов в некоторых (около 10%) пробах огородной почвы, молока, картофеля значительно превышает их активность в основной части проб [5].

Сходные результаты были получены другими исследователями, например авторами Международного Чернобыльского проекта в 1992 г., где для анализа данных использовали, в частности, 90% квантиль распределения [6].

Т.И. Чегерова показала, что в Могилевской области активность  $^{137}\text{Cs}$  в молоке, молочных продуктах, мясе, грибах, свежих овощах, фруктах и ягодах в, соответственно, 54%, 75%, 44%, 80%, 43%, 70% проб попадает в первый карман гистограммы. При этом, в отдельных пробах активность может быть в десятки раз выше, чем в первом кармане [7].

Во многих случаях «правило трех сигм» не позволяет исключить наиболее грязную пробу, так как значения дают большой разброс и соответственно большую  $\sigma$ .

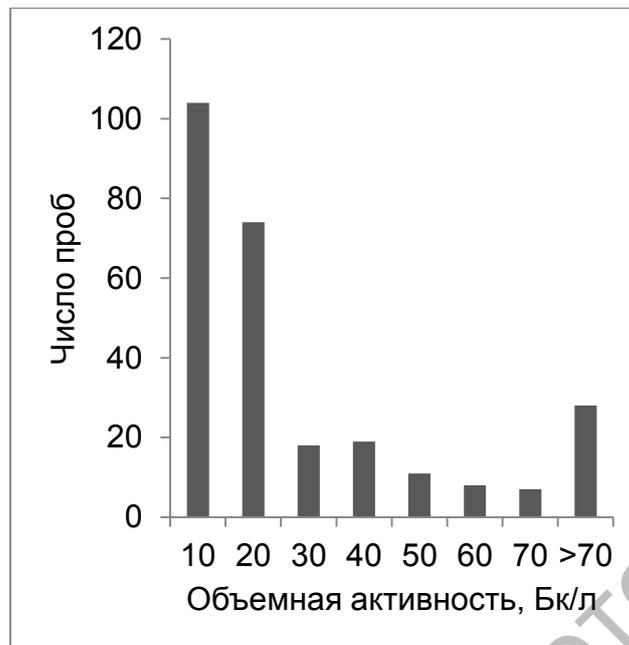
Причиной появления «грязных проб» является либо неоднородность выпадения радионуклидов, либо нарушение отдельными жителями населенных пунктов режима санитарно-охранной зоны Восточно-Уральского радиационного следа (ВУРС). Неоднородность в виде локальных эпицентров и их ореолов в принципе не может дать нормального распределения, так как площадь ореолов гораздо больше, чем площадь эпицентров. В зависимости от способа разбиения массива на карманы можно получить более или менее приближенное к нормальному распределение для проб из ореолов и длинный «хвост» для проб из эпицентра [5].

Нарушения режима санитарно-охранных зон могут быть эпизодическими или систематическими причины их могут быть различными. Так, в начальный период загрязнения реки Теча не были разъяснены жителям причины ограничений, а, главное, не было организовано снабжение чистой водой. Загрязнение молока в населенных пунктах на реке Теча значительно увеличивалось по мере удаления от наиболее грязных участков реки. По-видимому, в населенных пунктах в верхнем течении ограничения были более строгими. В зависимости от погодных условий и урожайности травянистой растительности жители могли использовать сено с более или менее загрязненных участков. Так в 2010 г. вследствие засухи некоторые жители заготавливали корма на заведомо загрязненных территориях. Нарушения могут иметь и экономические причины. По словам жителей н.п. Булзи в 1970-е годы во многих семьях заготавливали сено на территории ВУРС так как «это было бесплатно».

Неоднородность условий формирования дозы внутреннего облучения населения зависит и от социальных факторов. Так для населения Беларуси выявлена тенденция – чем меньше населённые пункты, тем чаще средняя доза внутреннего облучения обследованных жителей превышает 0,1 мЗв. Это связывают с тем, что в мелких населённых пунктах менее развита инфраструктура, более выражена степень натурализации ведения хозяйства, население больше питается продуктами, выращенными на собственном огороде, и «дарами леса». В этих населённых пунктах также невысокая занятость населения, нет организованных пунктов питания, торговой сети и других условий, которые имеются в крупных поселениях [8-10].

Анализ ретроспективных данных показывает, что практически все массивы данных имеют резко асимметричное распределение. Логарифмирование значений снижает асимметрию, но не во всех случаях можно получить и логнормальное распределение. При логарифмировании с разным основанием распределение остается бимодальным, что явно свидетельствует о том, что пробы относятся, как минимум, к двум генеральным совокупностям. Способ разбиения диапазона значений на «карманы» в некоторых случаях может значительно изменить картину распределения [5].

По нашим данным, во многих случаях имеет место распределение типа «трамплин», пример которого приведен на рисунке 1.



**Рис. 1. Гистограмма распределения активности <sup>137</sup>Cs в молоке в личных хозяйствах н.п. Муслиумово в августе 1971 г., Бк/л**

Ivan Suchara приводит подобное распределение для значений активности <sup>137</sup>Cs в 152 образцах гумуса из Чешской республики [11].

Подобный характер распределения активности <sup>137</sup>Cs в молоке, молочных продуктах, мясе, грибах, картофеле, овощах, фруктах и ягодах Быховского района, загрязненного вследствие аварии на ЧАЭС, был описан Г.И. Чегеровой [7].

По нашему мнению, распределение значений, характеризующих уровень радиоактивного загрязнения (плотность, удельная активность и т.п.) по гауссиане может встречаться только на участках, внутри которых точки с разными уровнями загрязнения расположены в случайном порядке. В реальных условиях неоднородность загрязнения территории проявляется в виде пятен, имеющих эпицентр и разные по площади зоны ореолов, уровень загрязнения которых может изменяться относительно плавно и последовательно. При этом площадь зон ореолов в большинстве случаев будет увеличиваться при увеличении радиуса. Как при рандомизированном, так и при систематическом отборе проб вероятность выбора точки отбора из эпицентров пятен будет значительно ниже, чем из ореолов. Поэтому частота отборов проб почвы из наименее загрязненных участков будет значительно выше, чем из наиболее загрязненных. Это может привести к занижению оценки уровня загрязнения территории. Теоретически уровень загрязнения почвы даже при одномерной неоднородности необходимо определять, как сумму интегралов функций снижения плотностей загрязнения от эпицентров к фоновым значениям. На практике, такой способ неоправданно трудоемок.

Можно предполагать, что распределение в виде «трамплина» сигнализирует о неоднородности загрязнения, вызванной природными особенностями ландшафта, а бимодальное и полимодальное распределение свидетельствует об «организационной неоднородности», связанной с нерациональным использованием природных ресурсов в загрязненных ландшафтах (выделением для пользования сильнозагрязненных участков, несоблюдением ограничений и запретов населением и т.п.).

При хозяйственном использовании неравномерно загрязненных участков оценивается качество продукции собранной с большой территории. При этом продукция перемешивается, и представительная проба отражает суммарное

загрязнение урожая, полученного как с эпицентров, так и с ореолов. Рассчитываемые по представительной пробе продукции и по точеным пробам почвы коэффициенты накопления могут иметь значительную систематическую погрешность. Однако, поскольку прогнозирование загрязнения продукции будет иметь ту же погрешность, результат прогнозирования, в большинстве случаев, окажется достаточно достоверным.

### Литература

1. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П., Фадькин Г.Н. Радиоэкологические особенности миграции Cs-137 в растительность лесных экосистем Могилевской области Беларуси, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС // АгроЭкоИнфо. – 2015, №4. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/СТАТУИ/2015/4/st\\_17.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/СТАТУИ/2015/4/st_17.doc).

2. Шамов В.П., Дибобес И.К., Пантелеев Л.И. К вопросу о причинах отклонения вероятностного распределения стронция-90 в скелетах населения от нормальной кривой распределения // Восточно-Уральский радиоактивный след / Под ред. А.В. Аклеева и М.Ф. Киселева – Челябинск, 2012. – С. 137-138.

3. Опытная научно-исследовательская станция ПО «Маяк». Изучение радиоэкологических, радиационно-гигиенических и социально-хозяйственных последствий массивов радиоактивного загрязнения больших площадей (1958-1984 гг.). Отчет по теме «Мираж». Т.III. Библиотека журнала «Вопросы радиационной безопасности». Из архивов ПО «Маяк», №4/ Составители Л.А. Милакина, П.М. Стукалов – Озерск: Редакционно-издательский центр ВРБ, 2005. – 132 с.

4. Казачёнок Н.Н. Загрязнение сельскохозяйственной продукции на территории Южно-Уральской техногенной провинции радиоактивных изотопов// Аграрная Россия, №8, 2015. – С. 24-30.

5. Попова И.Я., Казачёнок Н.Н. Проблемы статистической обработки данных обследования радиоактивного загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции // АНРИ, № 3, 2015. – С. 15-19.

6. Международный Чернобыльский проект. Технический доклад. Оценка радиологических последствий и защитных мер. Вена: МАГАТЭ. – 1992. – 740 с.

7. Чегерова Т.И. Провести анализ адекватности существующих методик дозовых нагрузок с учетом неопределенностей статистической и нестатистической природы исходных данных. Отчет о НИР. Бел НИИ экологической и профессиональной патологии. Могилев, 2000, 43 с.

8. Агеева Т.Н., Чегерова Т.И., Щур А.В., Шапшеева Т.П. Роль радиоэкологических и социальных факторов в формировании доз внутреннего облучения сельских жителей территории радиоактивного загрязнения // Экологический вестник. – 2010, № 2 (12). – С. 40–49.

9. Агеева Т.Н., Чегерова Т.И., Щур А.В., Липницкий Л.В., Шапшеева Т.П. Результаты комплексного радиационно-гигиенического обследования реперных населенных пунктов Могилевской области // Экологический вестник. – 2011, № 2 (16). – С. 33-40.

10. Щур А. В., Виноградов Д. В, Агеева Т. Н., Шапшеева Т. П., Грязин В. А. Влияние радиоэкологической ситуации в приселитебных лесных массивах на дозы внутреннего облучения сельских жителей // Вестник ПГТУ. – 2016, № 1(29) С. 79-86.

11. Suchara I. The Distribution of <sup>137</sup>Cs in Selected Compartments of Coniferous Forests in the Czech Republic /Impact of Cesium on Plants and the Environment/D.K.Gupta, C. Walter (eds.) SpringerInternationalPublishingSwitzerland, 2017. – с. 71-99.