

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БАЙЕСА ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Проблема оценки уровня радиоактивного загрязнения растительной продукции на территории техногенных биогеохимических аномалий радиоактивных изотопов является весьма актуальной. Так, на территории, подвергшейся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС до 50% дозы облучения сформировалось за счет продуктов питания [1, 2].

Материалы, накопленные в базе данных УНПЦ РМ, дают основание предполагать, что применение обычных статистических методов для их анализа недостаточно. В большинстве случаев, при обследовании населенного пункта, подвергшегося радиоактивному загрязнению в результате деятельности ПО «Маяк», оказывалось, что активность радионуклидов в некоторых (около 10%) пробах огородной почвы, молока, картофеля значительно превышает их активность в основной части проб. Сходные результаты были получены другими исследователями, например авторами Международного Чернобыльского проекта в 1992 г., где для анализа данных использовали, в частности, 90% квантиль распределения. [4]. Нарушения могут быть эпизодическими или систематическими, в зависимости от погодных

условий и урожайности травянистой растительности жители могут использовать сено с более или менее загрязненных участков. Так в 2010 г. вследствие засухи некоторые жители заготавливали корма на заведомо загрязненных территориях. Весной 2011 г. в н.п. Аллаки в трех приусадебных хозяйствах были отобраны пробы сена, в которых удельная активность ^{90}Sr составляла 112 Бк/кг, 656 Бк/кг и 1132 Бк/кг, а в н.п. Караболка на одном из приусадебных участков активность ^{90}Sr в разных пробах сена была от 1709 до 2524 Бк/кг, почвы – от 239 до 820 Бк/кг, молока – до 24,8 Бк/л. Хозяева признались, что косили сено для коровы на территории ВУРС (болото Бугай). При этом, в 2009-2011 гг. активность ^{90}Sr в молоке в 30 км зоне ПО «Маяк» в среднем по 90% проб составляла 0,49 Бк/л, в сене – 23 Бк/кг, в огородной почве – 44,4 Бк/кг. [5, 6, 7].

. По 53 пробам почвы с пастбищ, отобранных здесь же, в этом же году данные также распадаются на 2 диапазона: большая часть гистограммы – нечто среднее между нормальным и равномерным распределением и равномерно распределенный «хвост». [8].

По нашему мнению при обработке экспериментальных данных при неравномерном радиоактивном загрязнении перспективным направлением может быть применение методов Байеса и нечеткой логики. Принципы применения методов нечеткой логики для анализа радиоактивного загрязнения почвы и сельскохозяйственной продукции были намечены нами в 2013 г. [9].

Зависимое событие (результат исследования пробы) связано с истинностью одной из несовместных гипотез $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$. Например, населенный пункт А является:

H_1 – незагрязненным;

H_2 – загрязненным.

Необходимо рассчитать вероятность истинности этих гипотез. До начала исследования населенного пункта определяют априорные вероятности этих гипотез, опираясь на уже имеющиеся данные. После получения результата анализа отобранной пробы (событие X) вероятности истинности гипотез пересчитывают. Например, если проба X оказалась незагрязненной, вероятность гипотезы H_1 увеличивается, а гипотезы H_2 – уменьшается.

Допустим, в населенном пункте содержится 19 коров, от каждой коровы на данном этапе исследования отбирают по одной пробе. Определим, населенный пункт как загрязненный, если хотя бы в одной пробе превышено ПДУ исследуемого радионуклида. Если хотя бы одна проба загрязнена, вероятность получения чистой пробы составит 0,947 или менее. Примем в качестве критерия отнесения населенного пункта к «незагрязненным» вероятность получения чистой пробы равной 0,95, к загрязненным – 0,94.

Наиболее простым случаем является расчет принадлежности исследуемого объекта к одной из двух категорий, однако метод Байеса [10] позволяет рассчитывать вероятности для большего количества гипотез.

Пример алгоритма расчета вероятности трех гипотез методом Байеса.

1. Диапазон значений, вероятность получения которых при исследовании отлична от нуля, разбивают на поддиапазоны. Критерии разбиения выбирают соответственно задачам исследования. Например, разбиение на поддиапазон значений, не превышающих ПДУ и поддиапазон значений, превышающих ПДУ.

2. Назначают категории объектов, к которым может быть отнесен исследуемый объект и определяют критерии соответствия исследуемого объекта назначенным категориям. Например: объект А относят к категории «безопасные», если вероятность отбора пробы, характеризующейся значением, входящим в поддиапазон «не превышающие ПДУ» =0,95; объект А относят к категории «средней опасности», если вероятность отбора пробы, характеризующейся значением, входящим в поддиапазон «не превышающие ПДУ» =0,5; объект А относят к категории «опасные», если вероятность отбора пробы, характеризующейся значением, входящим в поддиапазон «не превышающие ПДУ» =0,05.

3. Формулируют гипотезы принадлежности исследуемого объекта к назначенным категориям.

H_1 – отобранная проба X будет принадлежать объекту A_1 (A является «безопасным»).

H_2 – отобранная проба X будет принадлежать объекту A_2 (A является «средней опасности»).

H_3 – отобранная проба X будет принадлежать объекту A_3 (A является «опасным»).

Вероятность того, что проба X окажется «не превышающей ПДУ» при отборе из A_1

$$P_{H1}(X) = 0,95$$

при отборе из A_2

$$P_{H2}(X) = 0,5$$

при отборе из A_3

$$P_{H3}(X) = 0,05.$$

Вероятность того, что проба X' окажется «превышающей ПДУ» при отборе из A_1

$$P_{H1}(X') = 0,05$$

при отборе из A_2

$$P_{H2}(X') = 0,5$$

при отборе из A_3

$$P_{H3}(X') = 0,95.$$

Априорные вероятности того, что проба отобрана от объекта, относящегося к категории «безопасный» ($P(H_1)$), либо к категории «средней опасности» ($P(H_2)$) либо к категории «опасный» ($P(H_3)$) рассчитывают из имеющихся данных исследований. Если исследования ранее не проводили, то на первом этапе априорные вероятности можно принять равными.

$$P(H_1) = P(H_2) = P(H_3) = 1/3$$

4. Проводят отбор и анализ пробы.

Пусть проба X оказалась «не превышающей ПДУ».

По формуле полной вероятности вероятность того, что проба X будет «не превышающей ПДУ»:

$$P(X) = P(H_1) \cdot P_{H1}(X) + P(H_2) \cdot P_{H2}(X) + P(H_3) \cdot P_{H3}(X)$$

В таком случае, по формуле Байеса, рассчитывают апостериорные вероятности гипотез:

$$P_X(H_1) = (P(H_1) \cdot P_{H1}(X)) / P(X)$$

$$P_X(H_2) = (P(H_2) \cdot P_{H2}(X)) / P(X)$$

$$P_X(H_3) = (P(H_3) \cdot P_{H3}(X)) / P(X)$$

Пусть проба X' оказалась «превышающей ПДУ»

тогда вероятность того, что проба X' окажется «превышающей ПДУ»,

при отборе из A_1

$$P_{H1}(X') = 0,05$$

при отборе из A_2

$$P_{H2}(X') = 0,5$$

при отборе из A_3

$$P_{H3}(X') = 0,95$$

По формуле полной вероятности:

$$P(X') = P(H_1) \cdot P_{H1}(X') + P(H_2) \cdot P_{H2}(X') + P(H_3) \cdot P_{H3}(X')$$

По формуле Байеса, рассчитывают апостериорные вероятности гипотез:

$$P_{X'}(H_1) = (P(H_1) \cdot P_{H1}(X')) / P(X')$$

$$P_{X'}(H_2) = (P(H_2) \cdot P_{H2}(X')) / P(X')$$

$$P_{X'}(H_3) = (P(H_3) \cdot P_{H3}(X')) / P(X')$$

5. Принимают апостериорные вероятности в качестве новых априорных и повторяют

п.4.

6. Через определенное количество итераций получают апостериорные вероятности, соответствующие задачам исследования.

Таким образом, если нет возможности рассчитать вероятность получения пробы соответствующей/не соответствующей заданным параметрам, метод Байеса позволяет рассчитать вероятность того, что объект относится к категории, для которой характерна интересующая вероятность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. 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.

2. 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 Приволжского государственного технологического университета. Серия Лес. Экология. Природопользование. 2016. №1(29). – С. 79-86.

3. Опытная научно-исследовательская станция ПО «Маяк». Изучение радиоэкологических, радиационно-гигиенических и социально-хозяйственных последствий массированного 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. Международный Чернобыльский проект. Технический доклад. Оценка радиологических последствий и защитных мер. Вена, МАГАТЭ. – 1992. – 740 с.

5. Казаченок Н.Н., Попова И.Я., Костюченко В.А., Мельников В.С., Усольцев Д.В. Современные уровни загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs почвы и сельскохозяйственной продукции зоны ВУРС //Радиационная биология. Радиоэкология. Том 39, №3, 2009. – С. 324-329.

6. Костюченко В.А., Казачёнок Н.Н., Перемыслова Л.М., Попова И.Я., Тихова Ю.П. Современный этап развития Восточно-Уральского радиоактивного следа //Вопросы радиационной безопасности, №5 (Специальный выпуск), 2013, с. 46-52.

7. Казачёнок Н.Н., Костюченко В.А., Попова И.Я., Перемыслова Л.М., Полянчикова Г.В., Тихова Ю.П., Коновалов К.Г., Копелов А.И., Мельников В.С. Современные уровни радиоактивного загрязнения ВУРС и других территорий в зоне влияния ПО «Маяк»

Вопросы радиационной безопасности, №1, 2014. – С.34-49.

8. Попова И.Я., Казачёнок Н.Н. Проблемы статистической обработки данных обследования радиоактивного загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции // АНРИ. – 2015. - №3. – С.15-14.

9. Казачёнок Н.Н. Использование принципов нечеткой логики при оценке радиационной ситуации в населенных пунктах. Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века: материалы 13 межд. науч. конф., 16-17 мая 2013 г., г. Минск, Республика Беларусь / под ред. С.П. Кундаса, С.С. Поздняка, Н.А. Лысухо. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2013. – с. 225-226.

10. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности. Харьков: «Гуманитарный центр», 2005. – 632 с.