

**УДК 631**

Казачёнок Н.Н., доцент  
Белорусско-Российский университет

Kazachonok N.N., docent  
Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННЫХ СИТУАЦИЙ**

## **METHODOLOGICAL APPROACHES TO FORECASTING THE DEVELOPMENT OF RADIATION SITUATIONS**

В 2019 г., по результатам исследований Роспотребнадзора, к зонам радиационного риска относилось 3855 населенных пунктов расположенных в зоне выпадения осадков Чернобыльской АЭС.

В Курганской, Свердловской и Челябинской областях также имеются территории загрязненные  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Хотя в настоящее время вклад техногенных источников в дозу облучения населения большинстве случаев не превышает природных, и выбросы радиоактивных изотопов в атмосферу предприятиями Росатома относительно стабильны [7], дальнейшее развитие атомной отрасли предполагает сохранение риска возникновения аварийных ситуаций, связанных с радиоактивным загрязнением населенных пунктов и их ареалов. В связи с этим, остаётся актуальной проблема оценки риска для населения, проживающего на загрязненных территориях.

От техногенного загрязнения экосистем и ареалов населенных пунктов тяжелыми металлами и другими ксенобиотиками радиоактивное загрязнение отличается режимом выпадений. Если в первом случае выбросы в атмосферу продолжаются годами и при разных погодных условиях, что приводит к относительно равномерному загрязнению территории, выброс радионуклидов в атмосферу обычно бывает кратковременным. При этом, направление ветров, количество осадков и другие факторы, влияющие на формирование облака и условия его осаднения невозможно спрогнозировать достаточно точно. Хотя в логическую модель можно ввести любое количество параметров, а современные мощности позволяют рассчитать практически все возможные сочетания значений этих параметров, коэффициенты в модели для каждого конкретного ландшафта придётся находить эмпирически, а верификация модели для редкого события технически невозможна.

Поэтому неоднородность атмосферных выпадений или сбросов в водоёмы и водотоки, а также неоднородность условий перераспределения радионуклидов в экосистемах создают серьёзные проблемы при

моделировании и прогнозировании развития радиационной ситуации и даже – при статистической обработке результатов полевых исследований. Эти проблемы были выявлены уже давно. Так, в 2001 г. опубликованы «Методические указания» по оценке доз у населения, в которых указано, что модели восстановления параметров радиационной ситуации «предполагают обычные метеорологические условия», а в аномальной метеообстановке «возможно использование только отдельных связей и соотношений для решения частных вопросов, при условии учета влияющих обстоятельств» [8]. Также известно, что результаты измерений не подчиняются нормальному закону распределения. Они могут быть логнормальными [9] или распределение может быть бимодальным [11], или принимать форму трамплина [3, 15]. Форма трамплина связана с тем, что площади эллипсов, ограниченных изолиниями уровня загрязнения, обратно пропорциональны этим уровням [3].

Тем не менее, до настоящего времени в методических указаниях по обследованию и оценке рисков при радиоактивном загрязнении рекомендуется рассчитывать средние или средневзвешенные дозы [12, 13]. При этом, неоднородность условий и большую вариабельность результатов измерений предлагают компенсировать различными, в том числе, взаимоисключающими способами. Так, предлагают отбраковывать пробы, параметры которых превышают некоторые субъективные критерии, например индивидуальные мощности дозы внешнего облучения, превышающие мощность дозы над целинными участками [16]. Однако, при этом не учитывается, что ареалы населенных пунктов имеют границы на расстоянии 5 км от границы поселения [14], а радиоактивный след между этими поселениями имеет ширину около 8 км и является очень неоднородным [1, 4].

Также предлагают подвергать тщательной проверке результаты измерений содержания радионуклидов в продуктах, если они превышают произведение плотности загрязнения на коэффициент перехода [16]. Однако коэффициенты перехода варьируют в широких пределах и в крупных сельскохозяйственных предприятиях, и на приусадебных участках [4].

Рекомендуется отбрасывать более высокие результаты измерения [16], но при этом учитывать среднюю дозу у 10% населения, имеющего максимальные индивидуальные дозы облучения, как среднюю дозу критической группы [10].

Для водоёмов и водотоков характерна неоднородность распределения радионуклидов не только в пространстве, но и во времени [2, 5, 6], что делает проблему прогнозирования развития радиационной ситуации и оценку рисков ещё более сложной.

Нами предлагаются следующие методологические подходы к оценке радиационной ситуации и прогнозированию её развития.

1. Проводить статистическую обработку данных радиоэкологических исследований, выделяя выборочные совокупности из проб, отобранных внутри ореолов, ограниченных изолиниями уровней загрязнения.

2. При ретроспективном анализе архивных данных, в том случае, когда нет возможности связать активность проб с уровнями загрязнения территории, рассчитывать уравнение регрессии для эмпирического распределения «трамплин» и определять вероятность получения продукции с определенным уровнем загрязнения по этому уравнению.

3. Для небольших населённых пунктов с низкой плотностью загрязнения рассчитывать вероятность получения продукции, не соответствующей радиационно-гигиеническим нормативам с помощью метода Байеса.

4. При прогнозировании динамики загрязнения воды в водотоках по материалам большого числа измерений рассчитывать не линию тренда, а уравнения границ эмпирических диапазонов, в которых находятся пробы в заданных пределах объёмной активности.

5. Для моделирования развития радиационной ситуации в многокомпонентных системах использовать метод клеточных автоматов, в котором для различных компонентов системы задаются различные вероятности смещения элементов массивов и условия перехода между массивами.

### Список литературы

1. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года /Под ред. Ю. А. Израэля. – М: ИГКЭ Росгидромета и РАН Фонд «Инфосфера»-НИА-Природа, 2013. – 140 с.

2. Казачёнок Н. Н., Попова И. Я., Мельников В. С., Полянчикова Г. В., Коновалов К. Г., Тихова Ю. П. Закономерности распределения  $^3\text{H}$  в открытых водоемах и источниках питьевого водоснабжения в зоне влияния ПО «Маяк»//АНРИ, – № 3, - 2013. – С. 43-51

3. Казачёнок Н.Н. Влияние эпицентров и ореолов радиоактивного загрязнения на характер статистического распределения//Геология, геоэкология, эволюционная география: Труды международного семинара. Том XV / Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко, С.И. Махова. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2016. – С. 87-90

4. Казачёнок Н.Н., Попова И.Я., Костюченко В.А., Мельников В.С., Усольцев Д.В. Современные уровни загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , почвы и сельскохозяйственной продукции зоны ВУРС//Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – Т.49. – №3. – С. 324-329

5. Казачёнок Н.Н., Попова И.Я., Мельников В.С., Полянчикова Г.В., Тихова Ю.П., Коновалов К.Г., Копелов А.И.  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  в системе реки Течи / Н. Н. Казаченок [и др.] // Вода : химия и экология. – 2013. – № 11. – С. 10–15.

6. Казачёнок Н.Н., Попова И.Я., Мельников В.С., Полянчикова Г.В., Тихова Ю.П., Коновалов К.Г., Копелов А.И. Радиоактивное загрязнение воды озёр на территории Южно-Уральской техногенной биогеохимической провинции радиоактивных изотопов / Н. Н. Казаченок [и др.] // Вода : химия и экология. – 2014. – № 10. – С. 16-22

7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2020. – 1000 с.

8. Оценка поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянно проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов: Методические указания. –М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. –112 с.

9. Оценка радиологической эффективности защитных мероприятий (контрмер), проводимых в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС: Методические рекомендации. –М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. –27 с.

10. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. – 19 с

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

12. Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения. Методические рекомендации. – М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. –40 с.

13. Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенных пунктов, расположенных на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии в 1957 году на ПО «Маяк» и сбросов радиоактивных отходов в реку Теча: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. – 31 с.

14. Реконструкция накопленной дозы у жителей бассейна р. Течи и зоны аварии в 1957 г. на производственном объединении «Маяк». Дополнение 1: Методические указания. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 6 с

15. 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.

16. Экспертиза и систематизация первичных исторических данных радиационного мониторинга, проводившегося на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. –23 с.

#### Bibliography

1. Atlas of the East Ural and Karachayevsky radioactive traces, including the forecast until 2047 / Ed. Yu. A. Israel. - M: IGKE Roshydromet and RAS Infosfera Foundation -NIA-Priroda, 2013. - 140 p.

2. Kazachenok N.N., Popova I.Ya., Melnikov V.S., Polyanchikova G.V., Konovalov K.G., Tikhova Yu.P. Regularities of  $^3\text{H}$  distribution in open water bodies and sources of drinking water supply in the zone of influence of PA "Mayak"// ANRI, - No. 3, - 2013. - P. 43-51

3. Kazachenok N.N. Influence of epicenters and halos of radioactive contamination on the nature of statistical distribution // Geology, geoecology, evolutionary geography: Proceedings of the international seminar. Volume XV / Ed. EAT. Nesterova, V.A. Snytko, S.I. Makhova. - SPb .: Publishing house of the Russian State Pedagogical University im. A.I. Herzen, 2016 .-- S. 87-90

4. Kazachenok N.N., Popova I.Ya., Kostyuchenko V.A., Melnikov V.S., Usoltsev D.V. Current levels of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  contamination, soil and agricultural products of the EURT zone // Radiation Biology. Radioecology. - 2009. - T.49. - No. 3. - S. 324-329

5. Kazachenok N.N., Popova I.Ya., Melnikov V.S., Polyanchikova G.V., Tikhova Yu.P., Konovalov K.G., Kopelov A.I.  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239.240}\text{Pu}$  in the Techa river system / NN Kazachenok [et al.] // Water: chemistry and ecology. - 2013. - No. 11. - P. 10-15.

6. Kazachenok N.N., Popova I.Ya., Melnikov V.S., Polyanchikova G.V., Tikhova Yu.P., Konovalov K.G., Kopelov A.I. Radioactive contamination of lake water on the territory of the South Ural technogenic biogeochemical province of radioactive isotopes / NN Kazachenok [et al.] // Water: chemistry and ecology. - 2014. - No. 10. - P. 16-22

7. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2019. State report. - M .: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2020 .-- 1000 p.

8. Assessment of absorbed and effective doses of ionizing radiation in the population permanently residing on the radioactive traces of atmospheric nuclear explosions: Methodological guidelines. –М .: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2001. –112 p.

9. Assessment of the radiological effectiveness of protective measures (countermeasures) carried out in the remote period after the accident at the

Chernobyl nuclear power plant: Methodological recommendations. –М .: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2011. –27 p.

10. Estimation of the average annual effective radiation doses to critical groups of residents of settlements of the Russian Federation exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl accident: Methodological guidelines. - М .: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2005 .-- 19 p.

11. Popova I.Ya., Kazachenok N.N. Problems of statistical processing of survey data on radioactive contamination of soils and agricultural products // ANRI. - 2015. - No. 3. - p.15-19

12. Conducting a comprehensive expeditionary radiation-hygienic survey of the settlement to assess the exposure doses to the population. Guidelines. - М .: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2011. –40 p.

13. Conducting a comprehensive expeditionary radiation-hygienic survey of settlements located in the territories exposed to radioactive contamination as a result of the accident in 1957 at the Mayak PA and discharges of radioactive waste into the Techa River: Methodological recommendations. - М .: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2013. - 31 p.

14. Reconstruction of the accumulated dose among residents of the river basin. Leaks and accident zones in 1957 at the Mayak production association. Appendix 1: Methodological guidelines. - М .: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2003 .-- 6 p.

15. Chegerova T.I. To analyze the adequacy of the existing methods of dose loads, taking into account the uncertainties of the statistical and non-statistical nature of the initial data. Research report. Bel Research Institute of Environmental and Professional Pathology. Mogilev, 2000, 43 p.

16. Expertise and systematization of the primary historical data of radiation monitoring carried out in the territories exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl accident: Methodological recommendations. - М .: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2012. –23 p.