



УДК 664

## Читайте и узнаете:

- совокупным воздействием каких факторов может определяться уровень риска попадания на рынок недоброкачественной продукции;
- что если концентрация каждого загрязнителя по отдельности не превышает ПДК, их совокупное воздействие на организм может быть непредсказуемым;
- о вкладе сертификации в обеспечение безопасности продукции для целей страхования.

## Состав и безопасность пищевой продукции

*А.Б. Лисицын, научный руководитель ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, академик РАН, д-р техн. наук, профессор*

*О.М. Розенталь, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН, д-р техн. наук, профессор*

*И.М. Чернуха, руководитель научно-исследовательского испытательного центра Всероссийского научно-исследовательского института мясной промышленности, академик РАН, д-р техн. наук, профессор*

*Н.Л. Вострикова, руководитель Испытательного центра ФНЦ Пищевых систем им. В.М. Горбатова, д-р техн. наук*

Предложена методика оценки многофакторного риска поступления на рынок опасной продукции, основанная на теории случайных величин. Расчеты сделаны на примере продукции, содержащей несколько тяжелых металлов, относящихся к числу ее опасных загрязнителей. Особое внимание уделяется тому, что уровень риска необходимо оценивать путем учета совокупного воздействия всех загрязнителей, даже если концентрация каждого из них ниже ПДК.

**С**набжение населения безопасной продукцией относится к важнейшим направлениям жизнеобеспечения. В № 184–ФЗ<sup>1</sup> тема безопасности продукции доминирует среди заявленных целей технического регулирования.

<sup>1</sup> Федеральный закон № 184–ФЗ от 27.12.2002 г. «О техническом регулировании».

### Обоснование подхода к задаче

Понятие безопасности трактуется как отсутствие «недопустимого риска». Очевидно, что при такой постановке вопроса во многих случаях будет трудно установить жесткую границу между допустимым и недопустимым риском. Особые трудности при этом

## Ключевые слова:

качество продуктов питания, риски, многофакторная методика оценки, тяжелые металлы, аддитивный эффект, уровни безопасности, страхование ответственности за качество продукции

могут возникнуть при воздействии одновременно нескольких факторов риска, так как в методическом, теоретическом и нормативном плане проблема многофакторности риска мало изучена. Многофакторная природа риска пищевого отравления определяется наличием нескольких опасных загрязнителей [1–4]. Поэтому разработка методики оценки многофакторного риска является актуальной задачей.

Предлагаемый в настоящей статье подход к решению поставленной задачи опирается на теорию случайных величин, практическое применение которой в последние годы расширяется [4, 5]. Каждый загрязнитель продуктов питания имеет нормированную предельно допустимую концентрацию (ПДК). Концентрация каждого из загрязнителей изменяется случайным образом от партии к партии продукции.

Недоброкачественная продукция обычно определяется путем сравнения концентрации каждого из загрязнителей с величиной ПДК. Фактически уровень риска попадания на рынок недоброкачественной продукции следует

оценивать путем учета совокупного воздействия всех загрязнителей, даже если концентрация каждого из них ниже ПДК. Такой учет требует специальных исследований, поскольку в каждом конкретном случае результат совокупного воздействия разных факторов может определяться правилами аддитивности, синергичности, кумулятивности и т. д., в зависимости от природы этих факторов.

### Риски загрязнения продуктов тяжелыми металлами

Ниже рассмотрены примеры оценки риска попадания на рынок недоброкачественной продукции, содержащей несколько тяжелых металлов, относящихся к числу ее опасных загрязнителей. Совокупное воздействие таких загрязнителей на организм нередко бывает непредсказуемым. Это может быть связано с эффектами их взаимного синергетического влияния. Например, установлено, что внесение в культуру водорослей хлорелла, сценедесмус и других отдельных металлов в концентрациях, соответствующих ПДК, не влияло на рост клеток, тогда как их смесь сильно подавляла этот рост даже при более низких концентрациях. Реакция же водорослей на многие варианты совместного воздействия нескольких металлов на биологические процессы указывает на аддитивный эффект. Таковы примеры действия высокотоксичных металлов, обусловленные антагонизмом катионов. Так, свинец — известный нейротоксин — является антагонистом кальция. Он вытесняет кальций из некоторых отделов нервной системы, препятствуя тем самым выделению нейромедиаторов.

Аналогично действует кадмий. В 1990 г. широко распространившееся загрязнение восточного побережья Японии кадмием в сочетании с недостатком кальция в питании привело к развитию у местных жителей мучительной болезни — одной из разновидностей остеомиелита. Выяснилось, что причиной этого заболевания является антагонизм кадмия и кальция. Такой же эффект наблюдался и в отношении ртути.

Можно уверенно предположить, что перечисленные металлы — свинец, кадмий и ртуть — при содержании их в любой продукции оказывают аналогичное действие на организм. В то же время они часто присутствуют вместе в воде и почве индустри-

и птиц, выращиваемых в экологически неблагоприятных регионах [1–3].

Так установлено, что среднее содержание кадмия, железа и магния в воде Региона 1 превышает предельно допустимые концентрации более чем в два раза. При анализе образцов воды, отобранной в Регионе 2, имеет место превышение ПДК по кадмию в 5–8 раз и по магнию в 1,5–1,7 раза.

### Прогностический анализ количества тяжелых металлов в мясе

Установлены точки накопления токсичных веществ в органах и тканях лабораторных и сельскохозяйственных животных и птицы:

**Достаточно часто за безопасную может быть принята продукция, которая фактически таковой не является, если учесть сопряженное действие факторов**

ально развитых регионов. В этих случаях даже при выдерживании норм ПДК по отношению к каждому из металлов в отдельности опасность их суммарного влияния может быть обусловлена правилом аддитивности, как это показано в дальнейших количественных примерах.

Более того, даже натрий и калий при аккумуляции в организме человека в повышенных количествах могут оказывать негативное влияние на метаболизм и вызывать сильнейшие нарушения.

В исследованиях, выполненных авторами, изучалось накопление токсичных и биогенных веществ органами и тканями животных

- для птицы: кожа > желудок > печень > сердце > красное мясо > белое мясо;
- для свиней: почки > жир околопочечный > печень > сердце > мышечная ткань;
- для крыс: почки > печень > сердце > мышечная ткань.

Используя методологию прогностического анализа, на примере свинца и кадмия определены количества, которые потенциально могут поступать в организм человека при потреблении мяса из экологически неблагоприятных регионов [5–7]. Данные приведены в *таблице*.

В расчетах мы исходили из среднестатистических данных потребления мяса на душу населе-

# Оценка соответствия и контроль

Таблица. Прогностический расчет средней суточной дозы поступления свинца и кадмия в организм человека

Сырье	Процент от общего потребления пищи		Потребление на душу населения, г/день		Ожидаемое поступление свинца, мкг/кг массы тела в сутки		Ожидаемое поступление кадмия, мкг/кг массы тела в сутки	
	2009	2019	2009	2019	2009	2019	2009	2019
Говядина	30	22	53,53	41,15	0,15	0,12	0,008	0,006
Свинина	32	37	55,34	69,96	0,31	0,39	0,020	0,025
Птица	35	39	62,41	80,24	0,55	0,71	0,038	0,049
Субпродукты	7	8	13,7	14,40	0,14	0,15	0,035	0,037
Всего	—	—	184,98	205,75	1,150	1,36	0,101	0,112

ния в РФ, составившего 68 кг (в 2009 г.) и 75 кг (в 2019 г.)<sup>2</sup>.

Применение описанного подхода позволит по-новому взглянуть на обоснованность оценки безопасности мясного сырья с позиции накопления токсичных соединений с расчетом как индивидуальных, так и суммарных значений экспозиции и опреде-

попадания на рынок недоброкачественной продукции, содержащей свинец, кадмий и ртуть. Эти загрязнители могут рассматриваться как аддитивные факторы опасности, поскольку имеют однотипную природу и при этом не взаимодействуют между собой. Эффективность предлагаемой методики определяется далее оцен-

ми  $f_1(x)$  и  $f_2(y)$ . Примем для простоты аналогичным влияние загрязнителей одного класса токсичности на организм. Тогда указанные функции аддитивны и опасность представляет не только повышенная концентрация одного из токсикантов, но и повышенная суммарная концентрация  $Z = X + Y$ . Последняя величина распределена по закону  $g(z)$ , определяемому на основе функции распределения  $G(z)$ :

$$g(z) = G'(z),$$

$$G(z) = \int_0^z \int_0^{z-x} f_1(x)f_2(y)dydx.$$

## Использованная методика показывает, насколько важен переход от оценки риска поступления на рынок опасной продукции по отдельным факторам к оценке многофакторного риска

ления групп риска, поступление контаминантов, содержание которых может превышать установленные гигиенические нормативы.

Примечательно, что описанная методология в равной степени применима и к оценке аккумуляции биогенных веществ.

### Расчет аддитивных факторов опасности

В данной работе рассмотрены примеры оценки уровня риска

кой и сравнением уровней безопасности продукции, установленных с помощью новой и действующей методик.

**Пример 1 (качественный).** Рассмотрим риск попадания на рынок опасной продукции, содержащей два загрязнителя, аналогичных по природе своей токсичности. Их концентрации  $X$  и  $Y$ <sup>3</sup> независимы и распределены по законам, описываемым функция-

<sup>2</sup> Российский рынок мяса 2019. Тенденции и прогнозы. — *piginfo.ru*. — (Дата обращения: 25.01.2020 г.)

<sup>3</sup> Здесь и далее концентрации даны в безразмерных единицах предельно допустимых концентраций (ПДК). При этом принято, что величины  $X$  и  $Y$  изменяются в диапазоне от 0 до 1, а соответствующая истинная концентрация равна произведениям  $X \cdot \text{ПДК}_x$  и  $Y \cdot \text{ПДК}_y$ .

угольным распределением (ломаная линия), а всех трех — распределением, близким к нормальному.

Полученный результат иллюстрирует важность учета совокупного действия отдельных факторов риска. При подтверждении соответствия определяется концентрация всех загрязнителей (здесь —  $X, Y, Z'$ ).

По условиям задачи концентрация каждого загрязнителя по отдельности не превышает ПДК (то есть 1 в единицах ПДК), поэтому формально при подтверждении соответствия выдается положительное заключение. Между тем, как видно из рисунка, суммарная концентрация двух, а тем более всех трех загрязнителей может быть много больше единицы и идентифицируемый продукт не является безопасным из-за эффекта совместного воздействия загрязнителей.

**Примеры 2 (количественные).**

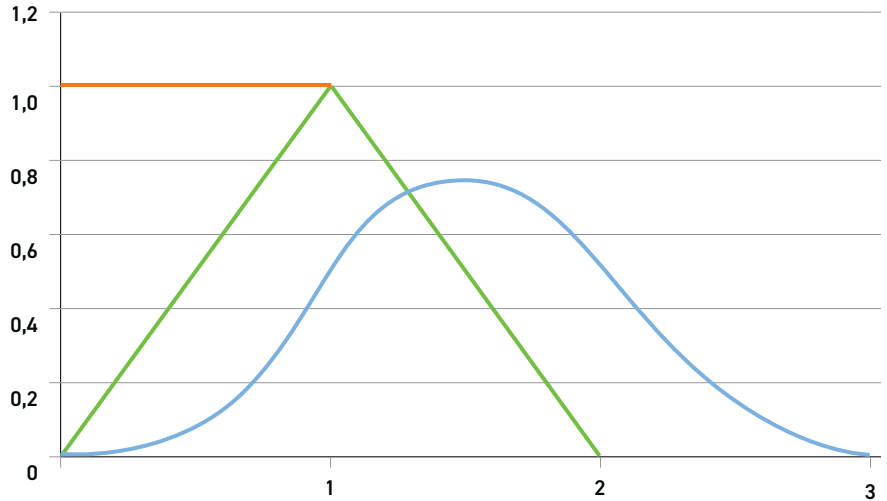
Для того чтобы определить вклад предлагаемой методики в обеспечение безопасности продукции рассмотрим эффективность ее использования при оценке результатов испытаний продукции.

**Пример 2.1.** Анализировалось содержание свинца (индекс 1) и кадмия (индекс 2) в партиях расфасованной продукции. Выяснилось, что содержание в ней этих металлов может быть описано функциями:

$$f_1(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,6, \\ 1, & 0,6 < x < 1,6, \\ 0, & x > 1,6. \end{cases}$$

и

$$f_2(y) = \begin{cases} 0, & y < 0,1, \\ 10, & 0,1 < y < 0,2, \\ 0, & y > 0,2. \end{cases}$$



**Рисунок.** Плотность распределения концентрации загрязняющих веществ в единицах ПДК

Используя приведенную выше методику расчета, имеем:

$$g(z) = \begin{cases} 0, & z < 0,7, \\ 10(z - 0,7), & 0,7 < z < 0,8, \\ 1, & 0,8 < z < 1,7, \\ 10(1,8 - z), & 1,7 < z < 1,8, \\ 0, & z > 1,8. \end{cases}$$

Здесь вероятность того, что случайно выбранная партия продукции безопасна, равна:

$$P\{0 < z < 1\} = 0,25.$$

По действующей методике бракуется та часть продукции, в которой содержание примеси в единицах ПДК больше 1,0. Это соответствует усечению распределения  $f_1(x)$  до 1,0. Тогда получаются следующие результаты:

$$g(z) = \begin{cases} 0, & z < 0,7, \\ 25(z - 0,7), & 0,7 < z < 0,8, \\ 2,5, & 0,8 < z < 1,1, \\ 25(1,2 - z), & 1,1 < z < 1,2, \\ 0, & z > 1,2. \end{cases}$$

В этом случае вероятность того, что партия является годной, равна:

$$P\{0 < z < 1\} = 0,625.$$

Таким образом, в данном случае отбраковка позволила значительно увеличить вероятность получения потребителем годной продукции. При этом было забраковано

$$\frac{1,6 - 1,0}{1,6 - 0,6} = 0,6,$$

т. е. 60 % партий. Тем самым существенно снижен риск попадания на рынок недоброкачественной продукции. Налицо высокая, хотя и неполная, эффективность повышения безопасности продукции при отбраковке. Однако, как видно из следующего примера, такой результат получается не всегда.

**Пример 2.2.** Анализировалась еще одна серия партий расфасованной продукции на ее безопасность по содержанию свинца (индекс 1) и ртути (индекс 2). Концентрация этих металлов может быть описана функциями:

$$f_1(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,6, \\ 2, & 0,6 < x < 1,1, \\ 0, & x > 1,1. \end{cases}$$

и

$$f_2(y) = \begin{cases} 0, & y < 0,3, \\ 5, & 0,3 < y < 0,5, \\ 0, & y > 0,5. \end{cases}$$

По вышеприведенной методике получаем:

$$g(z) = \begin{cases} 0, & z < 0,9, \\ 10(z - 0,9), & 0,9 < z < 1,1, \\ 1, & 1,1 < z < 1,4, \\ 10(1,6 - z), & 1,4 < z < 1,6, \\ 0, & z > 1,6. \end{cases}$$

Вероятность того, что партия содержит безопасную продукцию, равна:

$$P\{0 < z < 1\} = 0,05.$$

тельно, в данном случае процедура отбраковки малоэффективна.

Суммируя результаты вышеизложенного анализа, заключаем, что в целом корректная оценка по отдельным факторам риска повышает безопасность продукции, однако уровень значимости этого повышения может колебаться в очень широких пределах. Достаточно частыми могут быть случаи, когда за безопасную может быть принята продукция, которая фактически, если учесть сопряженное действие факторов, таковой не является.

В целом использованная методика показывает, насколько важен переход от оценки риска поступления на рынок опасной про-

ским рынком и т. д. Некоторые из этих сфер особенно чувствительны к развитости методической базы идентификации и управления рисками. К таким направлениям хозяйствования относится, например, страхование.

Мировая практика свидетельствует о том, что без достаточно развитой индустрии страхования страна с рыночной экономикой нормально развиваться не может. В развитых странах до 25 % долгосрочных инвестиций обеспечиваются страховыми фондами. При этом можно отметить высокую значимость страхования ответственности за качество продукции.

Для России это особенно важно учитывать, так как число исков потребителей по поводу нанесения им ущерба от недоброкачественной продукции быстро растет. Это создает, в свою очередь, объективные предпосылки к возрастанию спроса на страхование ответственности за качество продукции. Развитие этого направления в страховании отвечает интересам всех участников экономических отношений — государства, потребителей и предпринимателей.

Среди аспектов страхования ответственности выделяется своей значимостью проблема декомпозиции рисков по параметрам и факторам опасности. Удачное решение этой проблемы позволит активно включить в решение страховых задач методы сертификации, и в первую очередь — обязательной. Предлагаемое в настоящей работе направление оценки вклада сертификации в обеспечение безопасности продукции для целей страхования трудно переоценить, тем более что сертификация все больше входит в практику страхования.

### Многофакторная природа риска пищевого отравления определяется наличием нескольких опасных загрязнителей

При отбраковке получаем усечение распределения  $f_1(x)$  до единицы и имеем следующие результаты:

$$g(z) = \begin{cases} 0, & z < 0,9, \\ 12,5(z - 0,9), & 0,9 < z < 1,1, \\ 1, & 1,1 < z < 1,3, \\ 12,5(1,5 - z), & 1,3 < z < 1,5, \\ 0, & z > 1,5. \end{cases}$$

При этом получаем следующее значение вероятности годной продукции:

$$P\{0 < z < 1\} = 0,0625.$$

### Эффективность методики

Таким образом, в данном примере только 5 % партий состояли из безопасной продукции. После отбраковки эта величина лишь слегка увеличивается и достигает немногим более 6 %. Следова-

тельно, в данном случае процедура отбраковки малоэффективна. Это дает основание предлагать разработанную методику для применения в практике не только подтверждения соответствия, но и государственного контроля (надзора), на который возлагаются основные обязанности по обеспечению безопасности продукции.

### Методическая база идентификации и управления рисками

И еще один аспект проблемы. С вхождением России в рыночную экономику задача корректной оценки рисков приняла самостоятельное значение для устойчивого функционирования разных сфер хозяйствования — бюджетного финансирования, фондового рынка, страхования, инвестирования, управления потребитель-

## Многофакторный риск и инвестиционные процессы

Наши исследования показали также, что предлагаемое освоение области многофакторного риска позволит дать новые импульсы и другим направлениям развития инвестиционных процессов (гарантийные обязательства государства, банковское кредитование, фондовый рынок и др.), в частности — развитию проектного финансирования реального сектора экономики страны. При этом в развитии важных для России хозяйственных процессов будет соответствующим образом задействована не только сертификация, но и стандартизация.

### Использованная литература:

1. Калинова Ю.Е., Чернуха И.М., Вострикова Н.Л. Изучение накопления остатков токсичных веществ в органах и тканях свиней//Все о мясе. — 2007. — № 3. — С. 40–42.
2. Вострикова Н.Л. Контроль мясного сырья с повышенным содержанием тяжелых металлов//Мясная индустрия. — 2009. — № 6. — С. 29–32.
3. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Макаренко Г.Ю. и др.//Качество и безопасность продукции: создание и развитие систем управления. — М.: Эдиториал сервис, 2010. — 312 с.
4. Вострикова Н.Л., Чернуха И.М. Прослеживаемость биогенных металлов в структуре формирования безопасного мясного продукта//Все о мясе. — 2010. — № 3. — С. 34–35.
5. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Кузнецова Т.Г. и др. Химический состав мяса: справочные таблицы общего химического, аминокислотного, жирнокислотного, витаминного, микро- и макроэлементного составов и пищевой (энергетической и биологической) ценности мяса/ВНИИМП. — М., 2011. — 104 с.
6. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Лунина О.И., Федулова Л.В. Прижизненное формирование состава и свойств животного сырья/ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова. — М., 2018. — 440 с.
7. Бородин А.В., Чернуха И.М., Никитина М.А. Определение критических контрольных точек по трофологической цепи производства мясных продуктов от поля до потребителя//Теория и практика переработки мяса. — 2017. — Т. 2. — № 1. — С. 69–83.

### References:

1. Kalinova Yu.E., Chernukha I.M., Vostrikova N.L. A study of the accumulation of residues of toxic substances in the organs and tissues of pigs//All about Meat. — 2007. — № 3. — P. 40–42.
2. Vostrikova N.L. Control of meat raw materials with high content of heavy metals//Meat Industry. — 2009. — № 6. — P. 29–32.
3. Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Makarenkova G.Yu., et al. Product quality and safety: creation and development of management systems. — M.: Editorial Service, 2010. — 312 p.
4. Vostrikova N.L., Chernukha I.M. Traceability of biogenic metals in the structure of forming safe meat product//All about Meat. — 2010. — № 3. — P. 34–35.

5. Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Kuznetsova T.G., et al. Chemical composition of meat: reference tables of the general chemical, amino acid, fatty acid, vitamin, micro- and macronutrient composition and food (energy and biological) value of meat. — M.: VNIIMP, 2011. — 104 p.

6. Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Lunina O.I., Fedulova L.V. Lifetime formation of the composition and properties of animal raw materials/V.M. Gorbатов Federal Research Centre of Food Systems. — M., 2018. — 440 p.

7. Borodin A.V., Chernukha I.M., Nikitina M.A. Determination of critical control points on the trophological chain of production of meat products from the field to the consumer//Theory and Practice of Meat Processing. — 2017. — Vol. 2. — № 1. — P. 69–83.



## Резюме

**Предложенный подход к оценке многофакторного риска при широкомасштабном применении может оказать существенное положительное влияние на обеспечение безопасности продукции и услуг в рамках новой системы технического регулирования и, тем самым, на развитие инвестиционных процессов в российской экономике.**

### TITLE:

**The composition and safety of food products**

### AUTHORS:

**A.B. Lisitsyn**, Scientific Director of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems at the the Russian Academy of Sciences (RAS), Member of the RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor  
**O.M. Rosental**, Chief Researcher of the Institute of Water Problems at the RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor  
**I.M. Chernukha**, Head of the Research and Testing center of the All-Russian Research Institute of the Meat Industry, Member of the RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor  
**N.L. Vostrikova**, Head of the Testing Center at the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Doctor of Technical Sciences

### ABSTRACT

A method for evaluating the multifactorial risk of dangerous products entering the market based on the theory of random variables is proposed. The calculations are made on the example of assessing the risk of entering the market of products containing several heavy metals, which belong to the number of their dangerous pollutants. Special attention is paid to that the level of risk should be assessed by considering the combined effects of all pollutants, even if the concentration of each of them is lower than the maximum permissible concentration.

### KEYWORDS:

food quality, risks, multi-factor assessment methodology, heavy metals, additive effect, safety levels, insurance of responsibility for product quality

### SUMMARY

The proposed approach to the assessment of multi-factor risk in a wide-scale application can have a significant positive impact on the safety of products and services within the new system of technical regulation and, thus, on the development of investment processes in the Russian economy.