

Расчет и прогнозирование индивидуального риска смерти населения промышленного региона

Е.Н. Бельская, доцент, канд. техн. наук,

Е.В. Сугак, профессор, д-р техн. наук,

О.В. Бразговка, доцент, канд. пед. наук

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск

E-mail: ketrin_nii@mail.ru, sugak@mail.ru, Obraz@mail.ru

Ключевые слова:

риск,
факторы риска,
прогнозирование,
техногенный объект,
промышленный регион,
нейросетевые технологии.

В работе проведены апостериорная оценка индивидуального риска и его распределение по причинам смерти для населения города Красноярск и Красноярского края. Сравнительный анализ причин смерти в трудоспособном возрасте показал, что смертность, помимо болезней системы кровообращения, обуславливали злокачественные новообразования, болезни органов дыхания и внешние причины (неестественные). Также предложен метод прогнозирования индивидуального риска смерти населения промышленного региона, основанный на нейросетевых технологиях. Для построения нейросетевой модели использовался пакет NeuroPro. В качестве основных индикаторов здоровья населения принимались официальные данные о динамике естественного движения населения, ожидаемой продолжительности жизни и заболеваемости. Результаты работы показали хорошую сопоставимость с данными статистики, что свидетельствует о том, что применение нейросетевых технологий для решения задач, связанных с прогнозированием индивидуального риска, является перспективным направлением. Предложенный метод может быть внедрен в практику контроля состояния природной среды, «переобучение» нейросетевой модели позволит адаптировать ее для любой территории.

Содержание термина «риск» охватывает практически все области реальной жизни человека и общества. Этот термин используется во многих общественных и естественных науках, каждая из которых имеет свой предмет, свою направленность в исследовании риска и пользуется для этого собственными методами [1, 2, 3, 4, 5].

Естественно, каждая дисциплина имеет собственный взгляд, из-за чего понятие риска оказалось размытым и даже противоречивым. Известно, что нечеткими понятиями очень трудно пользоваться в научном познании, употреблять их в качестве инструмента систематизации и упорядочения информации. В связи с этим возникает потребность в проведении теоретико-методологического анализа проблемы [4, 6]. Области научных приложений исследований риска многообразны, поэтому часто одному понятию различные научные дисциплины придают разную смысловую нагрузку, что приводит

к большому разнообразию в научных концепциях риска [4].

Риск в общем случае интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных и природных явлений, сопровождающихся возникновением, формированием и действием опасности и нанесенного при этом социального, экономического и экологического ущерба [4, 5, 7]. Риск позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий, т. е. это количественная мера опасности и характеризует уровень безопасности [4, 7].

Поскольку риск принципиально измерим, и в условиях определенной инвариантности его общего исчисления и вариативности сферы приложения решаемых задач (человек, его интересы, компоненты окружающей среды) существует система показателей риска [7]. К таким показателям, позволяющим судить о предмете оценки риска, относятся индивидуальный, потенциальный, коллективный, социальный, технический

и экологический риск [7]. Основные из перечисленных показателей входят в число используемых при оценке риска в соответствии с требованиями нормативных документов. Индивидуальный риск характеризует риск человека как объекта уязвимости определенных опасности и угроз (табл. 1).

Индивидуальный риск занимает главное положение среди других показателей (так как человеческая жизнь — это высший элемент в существующей системе ценностей) и одна из наиболее часто используемых характеристик опасности, выражающей частоту (либо вероятность) потери здоровья или смерти человека. Математически индивидуальный риск может быть формализован следующим образом [2, 5, 7]:

$$R_u = \frac{n(\Delta t)}{N_f} \text{ год}^{-1},$$

где: n — число пострадавших (погибших) в единицу времени Δt от определенного фактора риска f ; N_f — число людей, подверженных соответствующему фактору риска f в единицу времени Δt .

Величина индивидуального риска смерти по причине болезней системы кровообращения в Красноярском крае, согласно данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю (КРАСНОЯРСКСТАТ), составила в 2012 г. $1,8 \cdot 10^{-3}$ (при общей численности населения в крае 2838396 человек), в 2013 г. —

$1,79 \cdot 10^{-3}$ (при общей численности населения в крае 2846475 человек). Распределение величины индивидуального риска по причинам смерти приведено в табл. 2.

В табл. 3 приведены значения индивидуального риска по причинам смерти для проживающих в городе Красноярске.

Количественные оценки риска являются объективными показателями опасности. Приемлемой величиной индивидуального риска смерти людей в результате

Таблица 2

Индивидуальный риск в Красноярском крае в 2012–2013 гг.

Причина смерти (фактор риска)	Значение индивидуального риска, год ⁻¹	
	(2012)	(2013)
Болезни системы кровообращения	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,79 \cdot 10^{-3}$
Внешние причины смерти	$4,02 \cdot 10^{-4}$	$3,77 \cdot 10^{-4}$
Наиболее значимые:		
Транспортные травмы всех видов	$5,99 \cdot 10^{-5}$	$6,36 \cdot 10^{-5}$
Случайные отравления алкоголем	$8,81 \cdot 10^{-6}$	$6,32 \cdot 10^{-6}$
Самоубийства	$8,39 \cdot 10^{-5}$	$7,38 \cdot 10^{-5}$
Убийства	$6,48 \cdot 10^{-5}$	$5,69 \cdot 10^{-5}$
Новообразования	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$6,51 \cdot 10^{-4}$
Болезни органов пищеварения	$2,09 \cdot 10^{-4}$	$1,98 \cdot 10^{-4}$
Болезни органов дыхания	$1,64 \cdot 10^{-4}$	$1,89 \cdot 10^{-4}$
Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	$9,02 \cdot 10^{-5}$	$8,92 \cdot 10^{-5}$

Таблица 3

Индивидуальный риск в Красноярске в 2012 г.
(среднегодовая численность населения за 2012 г. —
1 006 850 человек)

Причина смерти (фактор риска)	Значение индивидуального риска, год ⁻¹
Болезни системы кровообращения	$4,91 \cdot 10^{-3}$
из них от:	
ишемической болезни сердца	$2,68 \cdot 10^{-3}$
цереброваскулярных болезней	$1,53 \cdot 10^{-3}$
Внешние причины смерти	$1,28 \cdot 10^{-3}$
из них:	
самоубийства	$4,97 \cdot 10^{-5}$
убийства	$9,53 \cdot 10^{-5}$
случайные отравления алкоголем	$1,63 \cdot 10^{-4}$
все виды транспортных травм	$1,71 \cdot 10^{-4}$
Новообразования	$2,05 \cdot 10^{-3}$
из них от злокачественных	$2,00 \cdot 10^{-3}$
Болезни органов дыхания	$6,81 \cdot 10^{-4}$
Болезни органов пищеварения	$6,58 \cdot 10^{-4}$
Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	$2,89 \cdot 10^{-4}$
из них туберкулез (всех форм)	$1,38 \cdot 10^{-4}$
Болезни мочеполовой системы	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	$1,26 \cdot 10^{-4}$

Таблица 1
Источники и факторы индивидуального риска [5, 7]

Источник индивидуального риска	Наиболее распространенный фактор риска смерти
Внутренняя среда организма человека	Наследственно-генетические, психосоматические, заболевания, старение
Виктимность (возможность стать жертвой обстоятельств)	Совокупность личностных качеств человека как жертвы потенциальных опасностей
Привычки	Курение, употребление алкоголя, наркотиков, иррациональное питание
Социальная экология	Некачественные воздух, вода, продукты питания; вирусные инфекции, бытовые травмы, пожары
Профессиональная деятельность	Опасные и вредные производственные факторы
Транспортные сообщения	Аварии и катастрофы транспортных средств, их столкновения с человеком
Непрофессиональная деятельность	Опасности, обусловленные любительским спортом, туризмом, другими увлечениями
Социальная среда	Вооруженный конфликт, преступление, суицид, убийство
Окружающая природная среда	Землетрясение, извержение вулкана, наводнение, оползни, ураган и другие стихийные бедствия

общих заболеваний можно считать значение $5,0 \cdot 10^{-4}$ [5, 7]. Эта величина соответствует данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), согласно которым в современном мире практически невозможно предотвратить 5 смертей от общих заболеваний на каждые 10 тыс. человек. С таким уровнем риска общество вынуждено соглашаться, поскольку затраты на его снижение признаны нецелесообразными.

Болезни системы кровообращения занимают первое место среди причин смертности во всем мире. В последнее десятилетие смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации и в странах Восточной Европы существенно превысила аналогичный показатель в западных странах. Сравнительный анализ причин смерти в трудоспособном возрасте показал, что смертность, помимо болезней системы кровообращения, обуславливали злокачественные новообразования, болезни органов дыхания и внешние причины (неестественные).

Во многих современных исследованиях показано влияние «техногенных» факторов на основные индикаторы здоровья населения. В качестве примеров реальных мер, осуществляемых с целью управления индивидуальным риском, можно назвать: мониторинг состояния техногенных объектов и оценка их воздействия на окружающую среду и здоровье населения; прогнозирование чрезвычайных ситуаций техногенного характера и оценка их риска; рациональное размещение производительных сил по территории края с точки зрения техногенной безопасности; декларирование промышленной безопасности и лицензирование видов деятельности в области промышленной безопасности; проведение государственной экспертизы в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций; проведение государственного надзора и контроля по вопросам техногенной безопасности; информирование населения о потенциальных техногенных угрозах на территории проживания; осуществление мер защиты персонала и населения, проживающего на территориях, прилегающих к потенциально опасным объектам, и т. д.

Приведенные выше примеры значений индивидуального риска смерти относятся к апостериорному определению риска, т. е. к характеристике свершившихся событий. Существующий в настоящее время методический аппарат позволяет решать не менее важную задачу — прогнозировать риск, т. е. определять априорную оценку событий на определенный интервал будущего [7].

В России условия проживания населения в различных регионах существенно отличаются по природно-климатическим и географическим параметрам. Существует ряд территорий, где требования нормативов

качества окружающей среды и водных ресурсов практически невыполнимы. В таких случаях, если ориентироваться только на действующую нормативную систему, становится невозможным провести экологическую оценку ситуации и прогнозировать ее развитие.

Для выхода из создавшегося положения можно адаптировать методологическую базу, основанную на мировом опыте оценки и управления риском, к реальным возможностям и потребностям с использованием существующего опыта и наработок в области регламентирования вредных факторов окружающей среды. С одной стороны, необходимо учитывать, что при разработке нормативов получено большое количество данных, на основе которых возможно прогнозирование неблагоприятных для здоровья эффектов при различных дозовых нагрузках. С другой стороны, развитие средств вычислительной техники, методов математического моделирования и современных информационных технологий открывает качественно новые возможности анализа экологической ситуации. На период разработки новых отечественных критериев оценки риска и соответствующих нормативно-методических документов предлагается пользоваться референтными дозами (концентрациями) и потенциалами рисков [4, 8].

Анализ подходов, методов и методик проведения всех этапов оценки риска показывает, что наиболее серьезного развития требует этап оценки зависимости «доза–эффект» [4, 9]. Для обеспечения возможности его реализации методологически он должен, с одной стороны, основываться на тех же принципах, что и существующая система нормирования вредных факторов окружающей среды, но, с другой — максимально использовать современные вычислительные и информационные технологии [10]. Один из перспективных методов построения зависимости «доза–эффект» предполагает использование нейросетевых технологий, позволяющих обрабатывать большие объемы данных и оперативно устанавливать связи между входными и выходными параметрами [4, 8, 11, 12].

С целью проверить приемлемость использования нейросетевых технологий для оценки и прогнозирования риска была построена модель влияния вредных выбросов на здоровье населения Красноярского края [4, 8, 11]. В качестве индикаторов состояния окружающей среды использовались объемы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ [12]. Для построения нейросетевой модели использовался пакет NeuroPro — свободно распространяемая версия нейросетевого программного продукта для работы с искусственными нейронными сетями и извлечения знаний из таблиц данных с помощью нейронных сетей в среде Windows [13]. В качестве основных индикаторов здоровья насе-

ления принимались официальные данные о динамике естественного движения населения, ожидаемой продолжительности жизни и заболеваемости [4, 14, 15].

Тестовые расчеты показывают, что нейросетевая модель вполне удовлетворительно описывает исходные данные — погрешность по различным индикаторам составила от 1,9 до 4,7% [4, 16]. Нейросетевая модель позволяет оценивать влияние отдельных факторов на состояние здоровья населения и прогнозировать социальную эффективность природоохранных мероприятий. Расчеты показывают, что снижение объемов выбросов загрязняющих веществ на 10% в атмосферу (при прочих равных условиях) может привести к увеличению на 1,5–2 года средней продолжительности предстоящей жизни населения Красноярского края, к снижению индивидуального риска и социального ущерба на 180–420 млн руб. [4]. Обучение нейронной сети проводилось

на данных за 1999–2008 гг., тестирование — на данных за 2009–2010 гг., прогнозирование — на 2011 г. Средняя относительная ошибка по всем результатам составила 0,40%, средняя абсолютная ошибка — 0,93%. По данным о концентрации загрязняющих веществ за 2011 г. был получен прогноз количества умерших от новообразований в 2011 г. — 199,06 на 10 000 человек, а реальное количество составило 199,08 [4, 14, 16, 17].

Преимущество предлагаемого подхода в том, что расчеты получены на основании статистической обработки данных для конкретного промышленного региона, хотя «переобучение» нейросетевой модели позволит адаптировать ее для любой территории. Кроме того, сейчас уже имеются все необходимые правовые, методические и информационные возможности для его внедрения в практику контроля состояния природной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин К.В., Воробьев С.Н. Управление рисками. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. — 511 с.
2. Буянов В.П., Кирсанов К.А., Михайлов Л.М. Рискология. Управление рисками. — М.: Экзамен, 2003. — 382 с.
3. Быков Л.А., Порфирьев Б.Н. Об анализе риска, концепциях и классификациях рисков // Проблемы анализа риска. — 2007. — Т. 3. — № 4. — С. 319–337.
4. Сугак Е.В., Бразговка О.В., Бельская Е.Н. Техногенные социально-экологические риски населения промышленного региона // Актуальные направления научных исследований начала XXI века. сборник научных трудов. — Ростов-на-Дону: Изд-во Международного исследовательского центра «Научное сотрудничество», 2015. С.13–24.
5. Акимов и др. Надежность технических систем и техногенный риск. — М.: Деловой экспресс, 2002. — 368 с.
6. Зубков В.И. Риск как предмет социологического анализа: дис. ... д-ра социол. наук. — М.: Моск. гос. ун-т пищевых производств, 2005. — 306 с.
7. Чура Н.Н. Техногенный риск: учебное пособие / Н.Н. Чура; под ред. В.А. Девисилова. — М.: КНОРУС, 2017. — 280 с.
8. Сугак Е.В., Кузнецов Е.В., Назаров А.Г. Информационные технологии оценки экологической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2009. — Т. 18. — № 12. — С. 39–45.
9. Биомаркеры и оценка риска: концепции и принципы. Гигиенические критерии состояния окружающей среды // Бюллетень ВОЗ. — Вып. 155. — М., 1996. — 96 с.
10. Thomas D.C. Statistical Methods in Environmental Epidemiology. — Oxford University Press, 2009. — 449 p.
11. Сугак Е.В., Окладникова Е.Н., Ермолаева Л.В. Информационные технологии управления социально-экологическим риском // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та. — 2008. — Вып. 4 (21). — С. 87–91.
12. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Красноярского края в 1999 году». — Красноярск, 2000. — 192 с.
13. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. — М.: Горячая линия-Телеком, 2002. — 382 с.
14. Здравоохранение в г. Красноярске в 2012 году: стат. бюллетень № 8–5.2. — Красноярск: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, 2013. — 15 с.
15. Бельская Е.Н., Бразговка О.В., Сугак Е.В. Методика расчета экологических рисков // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С.84–91.
16. Потылицына Е.Н., Липинский Л.В., Сугак Е.В. Использование искусственных нейронных сетей для решения прикладных экологических задач // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 4. — С. 1–8 [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.science-education.ru/110-9779> (дата обращения: 29.06.2016).
17. Khritonenko D.I., Semenkin E.S., Sugak E.V., Potilitsina E.N. Solving the problem of city ecology forecasting with neuro-evolutionary algorithms // Vestnik SibGAU. — 2015. — Vol. 16. — № 1. — P. 137–142.
3. Bykov L.A., Porfir'ev B.N. Ob analize riska, v kontseptsiyakh i klassifikatsiyakh riskov [on risk analysis, concepts and classifications of risk]. *Problemy analiza riska* [Problems of risk analysis]. 2007, V. 3, I. 4, pp. 319–337. (in Russian)
4. Sugak E.V., Brazgovka O.V., Bel'skaya E.N. *Tekhnogennyye sotsial'no-ekologicheskie riski naseleniya promyshlennogo*

REFERENCES

- regiona. — Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy nachala XXI veka. sbornik nauchnykh trudov* [Man-made social and environmental risks of the industrial region of the population. — Current lines of research beginning of the XXI century. collection of scientific papers]. Rostov-on-Don, Mezhdunarodniy issledovatel'skii tsentr «Nauchnoe sotrudnichestvo» Publ., 2015, pp. 13–24. (in Russian)
5. Akimov Nadezhnost' *tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk* [Reliability of technical systems and technological risks]. Moscow, ZAO FID «Delovoy ekspres» Publ., 2002, 368 p. (in Russian)
 6. Zubkov V.I. *Risk kak predmet sotsiologicheskogo analiza. Doct. Diss* [Risk as a subject of sociological analysis. Doct. Diss]. Moscow, Mosk. gos. un-t pishchevykh proizvodstv Publ., 2005, 306 p. (in Russian)
 7. Chura N.N. *Tekhnogennyi risk* [Technological hazards]. Moscow, KNORUS Publ., 2017. 280 p. (in Russian)
 8. Sugak E.V., Kuznetsov E.V., Nazarov A.G. Informatsionnye tekhnologii otsenki ekologicheskoy bezopasnosti [Information technology assessment of environmental safety]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. 2009, V. 18, I. 12, pp. 39–45. (in Russian)
 9. Biomarkery i otsenka riska: kontseptsii i printsipy. Gigienicheskie kriterii sostoyaniya okruzhayushchey sredy [Biomarkers and risk assessment: concepts and principles. Hygienic criteria of the environment]. *Byulleten' VOZ* [Bulletin of WHO/Bulletin of WHO]. Moscow, 1996. 96 p. (in Russian)
 10. Thomas D.C. *Statistical Methods in Environmental Epidemiology*. — Oxford University Press, 2009. — 449 p.
 11. Sugak E.V., Okladnikova E.N., Ermolaeva L.V. Informatsionnye tekhnologii upravleniya sotsial'no-ekologicheskim riskom [Information Technology Management of social and environmental risks]. *Vestnik Sibirskogo gos. aerokosmicheskogo un-ta* [Bulletin of the Siberian State. Aerospace University]. 2008, pp. 87–91. (in Russian)
 12. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii okruzhayushchey prirodnoy sredy Krasnoyarskogo kraya v 1999 godu»* [The State Report “On the state of the environment of the Krasnoyarsk Territory in 1999”]. Krasnoyarsk, 2000. 192 p. (in Russian)
 13. Kruglov V.V., Borisov V.V. *Iskusstvennye neyronnye seti. Teoriya i praktika* [Artificial neural networks. Theory and practice]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2002. 382 p. (in Russian)
 14. *Zdravookhranenie v g. Krasnoyarske v 2012 godu: stat. byulleten' № 8–5.2* [Health care in the city of Krasnoyarsk in 2012: stat. Newsletter № 8–5.2]. Krasnoyarsk, Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Krasnoyarskomu krayu Publ., 2013. 15 p. (in Russian)
 15. Bel'skaya E.N., Brazgovka O.V., Sugak E.V. Metodika rascheta ekologicheskikh riskov [Methods of calculating environmental risks]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2014, I. 6, pp. 84–91. (in Russian)
 16. Potylitsyna E.N., Lipinskiy L.V., Sugak E.V. Ispol'zovanie iskusstvennykh neyronnykh setey dlya resheniya prikladnykh ekologicheskikh zadach [Using artificial neural networks for applied environmental problems]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2013, I. 4, pp. 1–8. Available at: <http://www.science-education.ru/110-9779> (accessed 29 June 2016). (in Russian)
 17. Khritonenko D.I., Semenkin E.S., Sugak E.V., Potilitsina E.N. Solving the problem of city ecology forecasting with neuro-evolutionary algorithms // *Vestnik SibGAU*. — 2015. — Vol. 16. — № 1. — P. 137–142.

Calculation and Forecasting of Individual Death Risk for Industrial Region's Population

E.N. Bel'skaya, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Siberian State Aerospace University named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk

E.V. Sugak, Doctor of Engineering, Professor, Siberian State Aerospace University named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk

O.V. Brazgovka, Ph.D. in Pedagogy, Associate Professor, Siberian State Aerospace University named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk

In this work a posteriori assessment of individual risk and its distribution on causes of death for the population of Krasnoyarsk city and Krasnoyarsk Krai has been carried out. The comparative analysis of mortality causes for the population at working-age has shown that, besides blood circulatory system diseases the mortality was caused by malignant neoplasms, respiratory diseases and the external causes (unnatural). A method of forecasting for individual death risk of the industrial region's population based on neural network technologies has been offered as well. The NeuroPro package was used for neural network model construction. Official data on dynamics of the population's natural movement, disability-adjusted life expectancy and disease incidence have been accepted as main indicators of the population health. Results of work showed good comparability to statistical data that demonstrates that use of neural network technologies for the solution of the tasks connected with forecasting of individual risk is a perspective direction. The offered method can be introduced in environmental monitoring practice, and “overtraining” of neural network model will allow adapt it for any other territory.

Keywords: risk, risk factors, forecasting, technogenic object, industrial region, neural network technologies.