

# ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И РАДИОТЕХНИКА

---

## ELECTRONICS, MEASURING EQUIPMENT AND RADIO ENGINEERING

УДК 681.518.3

doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-4

### Использование оценки коморбидности в информационно-измерительной системе определения экологического благополучия человека

О. Е. Безбородова<sup>1</sup>, А. И. Герасимов<sup>2</sup>,  
О. Н. Бодин<sup>3</sup>, Ф. К. Рахматуллов<sup>4</sup>, А. А. Трофимов<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>3</sup>Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup>oxana243@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Согласно исследованиям Всемирной организации здравоохранения состояние окружающей среды в месте проживания человека вносит существенный вклад в формирование функционального состояния его организма, определяя бремя болезней. Цель проведенного исследования – учесть влияние уровня экологического благополучия человека при оценке коморбидности человека на основе индекса экологической коморбидности. *Материалы и методы.* Исследование проведено с использованием комплексного экосистемного подхода и методов анализа и синтеза, группировки и обобщения, а также математического и имитационного моделирования. *Результаты.* Проведен анализ существующих индексов коморбидности, в том числе индекса экологической коморбидности *ECI*; средствами *SimInTech* проведено имитационное моделирование состояния территориальной техносферы для оценки экологического благополучия человека; предложена шкала, учитывающая влияние уровня экологического благополучия человека на индекс экологической коморбидности *ECI*. *Выводы.* Имитационные модели, созданные с использованием программного комплекса *SimInTech*, позволяют определить и проанализировать интегральный показатель состояния территориальной техносферы для различных факторов риска. Результаты работы могут быть использованы при определении экологической коморбидности человека через интегральный показатель состояния территориальной техносферы, выраженный в форме риска. Для практического использования авторы считают целесообразным предложенную шкалу скорректированного индекса экологической коморбидности *ECI+* при принятии решения по индивидуальной схеме лечения пациента.

**Ключевые слова:** коморбидность, индекс экологической коморбидности, интегральный показатель состояния территориальной техносферы, риск, имитационное моделирование

---

© Безбородова О. Е., Герасимов А. И., Бодин О. Н., Рахматуллов Ф. К., Трофимов А. А., 2023. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Для цитирования:** Безбородова О. Е., Герасимов А. И., Бодин О. Н., Рахматуллов Ф. К., Трофимов А. А. Использование оценки коморбидности в информационно-измерительной системе определения экологического благополучия человека // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 2. С. 52–68. doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-4

## Using of comorbidity assessment in the information and measurement system for determining human environmental well-being

O.E. Bezborodova<sup>1</sup>, A.I. Gerasimov<sup>2</sup>,  
O.N. Bodin<sup>3</sup>, F.K. Rakhmatullov<sup>4</sup>, A.A. Trofimov<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Penza State University, Penza, Russia

<sup>3</sup>Penza State Technological University, Penza, Russia

<sup>1</sup>oxana243@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* According to the studies of the World Health Organization, the state of the environment in the place of residence of a person makes a significant contribution to the formation of the functional state of his body, determining the burden of disease. The purpose of the study is to take into account the impact of the level of environmental well-being of a person when assessing human comorbidity based on the index of environmental comorbidity. *Materials and methods.* The study was carried out using an integrated ecosystem approach and methods of analysis and synthesis, grouping and generalization, as well as mathematical and simulation modeling. *Results.* The article analyzes the existing comorbidity indices, including the ECI ecological comorbidity index; by means of SimInTech, simulation modeling of the state of the territorial technosphere was carried out to assess the ecological well-being of a person; a scale is proposed that takes into account the effect of the level of environmental well-being of a person on the index of environmental comorbidity ECI. *Conclusions.* Simulation models created using the SimInTech software package make it possible to determine and analyze the integral indicator of the state of the territorial technosphere for various risk factors. The results of the work can be used in determining the ecological comorbidity of a person through an integral indicator of the state of the territorial technosphere, expressed in the form of risk. For practical use, the authors consider the proposed scale of the adjusted environmental comorbidity index ECI+ to be appropriate when making a decision on an individual patient treatment regimen.

**Keywords:** comorbidity, index of ecological comorbidity, integral indicator of the state of the territorial technosphere, risk, simulation modeling

**For citation:** Bezborodova O.E., Gerasimov A.I., Bodin O.N., Rakhmatullov F.K., Trofimov A.A. Using of comorbidity assessment in the information and measurement system for determining human environmental well-being. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2023;(2):52–68. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-4

### Введение

Согласно исследованиям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1] состояние окружающей среды в месте проживания человека вносит существенный вклад в формирование функционального состояния его организма, определяя количество заболеваний и их тяжесть (бремя болезней). Этот вклад ВОЗ оценивает в 25 %, который обеспечивают химические, физические и биологические факторы опасности (рис. 1). Эти факторы формируют уровень экологического благополучия человека, проживающего в исследуемой территориальной техносфере.

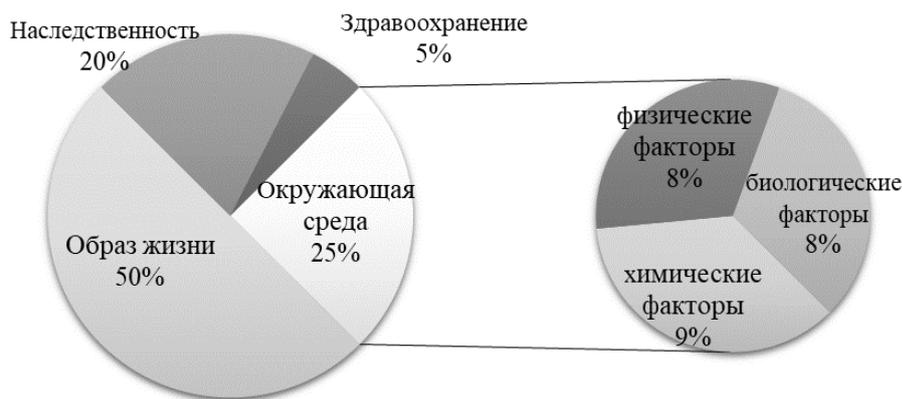


Рис. 1. Источники риска здоровью человека, по данным ВОЗ

Из 102 важнейших болезней и групп болезней факторы опасности, связанные с экологическим благополучием человека, вносят существенный вклад в общее бремя болезней по 85 категориям [2], причем они способствуют приобретению новых заболеваний и усугубляют тяжесть уже имеющихся.

С позиций современной медицины наличие коморбидности у населения оказывает значимое влияние на течение основного заболевания, его исход и развитие осложнений. Поэтому с уверенностью можно отметить, что улучшение экологического благополучия на территории проживания человека способствует уменьшению бремени болезней либо за счет уменьшения тяжести основного заболевания, либо за счет уменьшения количества сопутствующих.

Если говорить о региональном уровне, то «вклад» уровня экологического благополучия человека в формирование бремени болезней характеризуется существенным различием, что обусловлено неодинаковым и неравномерным распределением объектов техносферы в разных регионах. Например, если в развивающихся странах экологическим причинам приписывают 25 % всех случаев смерти, то в развитых странах этим причинам приписывают лишь 17 % [2].

Поэтому необходимо воспринимать окружающую среду и объекты техносферы как потенциальные источники опасности, которые могут сократить продолжительность жизни, ухудшить ее качество и понизить общий уровень благополучия. Для полного понимания связи между качеством окружающей среды, формируемым объектами техносферы, и здоровьем человека необходимы исследования, рассчитанные на установление взаимосвязей между этими элементами территориальной техносферы по большой совокупности параметров.

**Цель проведенного исследования** – учесть влияние уровня экологического благополучия человека при оценке коморбидности человека на основе индекса экологической коморбидности (*Ecological comorbidity index – ECI*). Мерой экологического благополучия выбран интегральный показатель состояния территориальной техносферы, определяемый через риск для здоровья человека.

Для достижения цели авторами поставлены и решены следующие **задачи**: провести анализ индексов коморбидности; предложить скорректирован-

ную математическую модель индекса экологической коморбидности *ECI+* с учетом интегрального показателя состояния территориальной техносферы; провести средствами *SimInTech* имитационное моделирование изменения интегрального показателя состояния территориальной техносферы; предложить шкалу скорректированного индекса экологической коморбидности *ECI+*.

**Объектами исследования** являются математическая модель интегрального показателя состояния территориальной техносферы на основе рисков и индекс экологической коморбидности.

Исследование проведено с использованием комплексного системного подхода и методов анализа и синтеза, группировки и обобщения, а также математического и имитационного моделирования.

## 1. Материалы и методы

С точки зрения медицины наличие сопутствующих заболеваний, формирующих бремя болезней у населения любого региона, оказывает значимое влияние на течение и эффективность лечения основного заболевания [3]. Поэтому для управления рисками развития осложнений и своевременной коррекции схемы лечения при наличии сопутствующих заболеваний создан эффективный механизм на основе алгоритмов клинической и инструментальной оценки. В его основу положены индексы оценки коморбидности. Появившись еще в 1970-х гг., они доказали свою эффективность при прогнозировании риска для человека с одним заболеванием приобрести еще несколько [4]. В результате дальнейших исследований были установлены группы заболеваний, приобретение одного из которых с высокой долей вероятности влечет за собой появление и остальных [5, 6].

Вопросы оценки коморбидности у человека представляют собой комплексную задачу, решение которой лежит в междисциплинарном подходе специалистов, разработке общих алгоритмов и тактики [3].

Коморбидность применяется для оценки степени тяжести хронических заболеваний пациента, контроля качества лечения. По ней можно прогнозировать примерную стоимость лечения, количество визитов к врачу и госпитализаций, а также оценить прогноз отдаленной летальности пациента.

Высокая коморбидность ухудшает прогноз лечения, приводит к инвалидности, повышает риск повторных госпитализаций и их длительность.

В настоящее время существует большое количество общепризнанных международных индексов коморбидности.

Сравнительный анализ наиболее используемых из них приведен в табл. 1. Анализ табл. 1 позволяет сказать, что при определении индексов 1–7 не учитываются экологические факторы опасности, влияющие на возникновение и развитие коморбидности, несмотря на то, что с 90-х гг. XX в. установлен и признан факт влияния экологии на здоровье человека [7].

И только при определении индекса экологической коморбидности *ECI* (п. 8) учитываются параметры, связанные с качеством среды обитания человека: климат и социальные особенности региона, имея ввиду объекты техносферы, расположенные на анализируемой территории, и их влияние на здоровье человека: инвалидность, региональные и профессиональные патологии, наличие и встречаемость групп заболеваний.

Таблица 1

## Результаты сравнительного анализа наиболее используемых индексов коморбидности

Индекс	Область использования	Сущность	Достоинства	Недостатки
Система <i>Cumulative Illness Rating Scale</i> [8]	Оценка тяжести хронических заболеваний	Оценка состояния каждой системы органов с учетом тяжести заболеваний с присвоением баллов за каждое из них. Итог – сумма баллов	Возможность отдельно оценить состояние каждой системы органов, пораженной хроническим заболеванием	Отсутствует учет: возраста, специфики болезни, пожилых, злокачественных заболеваний, прогноза
Индекс коморбидности <i>Charlson</i> [9]	Оценка прогноза больных с длительными сроками наблюдения	Расчет по сумме баллов, соответствующих сопутствующим заболеваниям, плюс 1 балл за каждые 10 лет жизни после 40 лет	Прогностическая ценность при оценке выживаемости больных, находящихся на программном гемодиализе	Не учитывает наличие стенокардии и стадии сердечной недостаточности и других заболеваний
Индекс <i>Kaplan – Feinstein</i> [10]	Оценка сопутствующих заболеваний на 5-летнюю выживаемость больных сахарным диабетом 2-го типа	Классификация имеющихся заболеваний: легкие, средние и тяжелые; вывод – на основе наиболее пораженной системы органов	Применим и при оценке тяжести злокачественных новообразований	Дает суммарную, но менее подробную, оценку состояния систем органов
Индекс сосуществоющих болезней [11]	Оценка изменения злокачественных новообразований	Оценка состояния пациента отдельно по физиологическим и функциональным характеристикам	Возможность прогнозирования изменения состояния	Узкая направленность
Гериатрический индекс коморбидности [12]	Оценка показателя сопутствующей патологии	Учет возраста, пола, когнитивного и функционального статуса, депрессивных симптомов, соматического здоровья	Наибольшая связь с инвалидностью и лучшей предиктор смертности	Применим только для пациентов старшей возрастной группы

Окончание табл. 1

Индекс	Область использования	Сущность	Достоинства	Недостатки
Индекс функциональной коморбидности [13]	Индекс состоит из 18 диагнозов заболеваний позвоночника	Классификация пациентов на группы с высокой и низкой функцией	Учитывает смертность, текущее состояние, способность к адаптации	Узкая направленность
Индекс <i>Total Illness Burden Index</i> [14]	Оценка риска возникновения заболевания, корректировки риска для различных заболеваний	Позволяет в режиме реального времени корректировать риск для здоровья в исследованиях по широкому спектру медицинских результатов	Оценивается с использованием психометрического подхода, прогнозирует качество жизни в течение 5 лет и более; оценка проводится менее чем за 15 мин	Относительно невысокая точность оценки риска
Индекс экологической коморбидности ( <i>ECT</i> ) [4, 15]	Учет влияния географических и социальных особенностей региона проживания	Начисляются баллы за возраст, климат, срок проживания в регионе, инвалидность, региональную и профессиональную патологию, наличие и встречаемость группы заболеваний	Учитывает влияние географических и социальных особенностей региона проживания	Не учитывает влияние экологии на здоровье человека

На фоне ухудшающейся экологической обстановки и с учетом признанного влияния на здоровье человека экологических факторов опасности необходимы способ и реализующая его система, которые позволят при оценке коморбидности учитывать влияние уровня экологического благополучия человека.

Разработанные авторами способ и система оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи [16] позволяют определить индекс экологической коморбидности с учетом уровня экологического благополучия человека для данной техносферы и использовать его при оптимизации и индивидуализации схемы лечения пациента.

Индекс экологической коморбидности необходим для учета влияния на бремя болезней конкретного человека уровня его экологического благополучия и для определения опасности, которую влечет за собой изменение качества среды в регионе проживания.

Определение индекса  $ECI+$  позволит учесть влияние экологического благополучия на бремя болезней и использовать этот индекс в лечебно-диагностической медицинской деятельности для оптимизации, индивидуализации и повышения эффективности схем лечения пациентов. Результатом этого должно стать повышение эффективности лечебно-диагностического процесса за счет индивидуализации и персонификации схем лечения пациентов, а также снижения экономических затрат и госпитальных ресурсов [16]. Это возможно учесть через медико-экономические группы параметров [17].

## 2. Теоретическая часть

### 2.1. Интегральный показатель состояния территориальной техносферы для оценки экологического благополучия человека в территориальной техносфере

Экологическое благополучие человека может быть рассмотрено как функциональное состояние организма человека, формируемое окружающей средой, в которой стремятся к нулю факторы риска, генерируемые объектами техносферы. Мерой экологического благополучия человека в территориальной техносфере является величина интегрального показателя состояния территориальной техносферы, выраженная через риск.

Для ее определения используем усовершенствованную систему дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерры:

$$\begin{cases} \frac{dr_i^{OT}}{dt} = a_1 r_i^{OT} - b_1 (r_i^{OT})^2 + c_1 r_i^{OT} r_i^{OC} + d_1 r_i^{OT} r_i^{ЧЕЛ}, \\ \frac{dr_i^{OC}}{dt} = a_2 r_i^{OC} - b_2 (r_i^{OC})^2 + c_2 r_i^{OC} r_i^{ЧЕЛ} + d_2 r_i^{OC} r_i^{OT}, \\ \frac{dr_i^{ЧЕЛ}}{dt} = a_3 r_i^{ЧЕЛ} - b_3 (r_i^{ЧЕЛ})^2 + c_3 r_i^{ЧЕЛ} r_i^{OT} + d_3 r_i^{ЧЕЛ} r_i^{OC}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $r_i^{OT}$  – значение техногенного риска;  $r_i^{OC}$  – значение экологического риска;  $r_i^{ЧЕЛ}$  – значение риска для здоровья человека;  $a_1$  – коэффициент загрузки объекта техносферы;  $a_2$  – масштабы распространения экологиче-

ского риска в территориальной техносфере;  $a_3$  – коэффициент функционального состояния организма человека;  $b_1$  – коэффициент эффективности работы средозащитного оборудования объекта техносферы;  $b_2$  – коэффициент самовосстановления окружающей среды;  $b_3$  – коэффициент самовосстановления функционального состояния организма человека;  $c_1$  – коэффициент, учитывающий влияние объекта техносферы на окружающую среду;  $c_2$  – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на функциональное состояние организма человека;  $c_3$  – коэффициент, учитывающий влияние человека на объект техносферы;  $d_1$  – коэффициент, учитывающий влияние объекта техносферы на функциональное состояние организма человека;  $d_2$  – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на объект техносферы;  $d_3$  – коэффициент, учитывающий влияние человека на окружающую среду.

Экологическое благополучие человека определяют на основе матрицы рисков территориальной техносферы:

$$R_j^{\text{ТТ}} = \begin{pmatrix} r_1^{\text{ОТ}} & r_1^{\text{ОС}} & r_1^{\text{ЧЕЛ}} \\ r_2^{\text{ОТ}} & r_2^{\text{ОС}} & r_2^{\text{ЧЕЛ}} \\ \dots & \dots & \dots \\ r_n^{\text{ОТ}} & r_n^{\text{ОС}} & r_n^{\text{ЧЕЛ}} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где сумма элементов 1-го столбца матрицы формирует значение техногенного риска:

$$R_j^{\text{ОТ}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^{\text{ОТ}}; \quad (3)$$

сумма элементов 2-го столбца матрицы формирует значение экологического риска:

$$R_j^{\text{ОС}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^{\text{ОС}}; \quad (4)$$

сумма элементов 3-го столбца матрицы формирует значение риска для здоровья человека:

$$R_j^{\text{ЧЕЛ}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^{\text{ЧЕЛ}}; \quad (5)$$

интегральный показатель состояния территориальной техносферы:

$$R^{\text{ТТ}} = \sqrt{\left(R_j^{\text{ОТ}}\right)^2 + \left(R_j^{\text{ОС}}\right)^2 + \left(R_j^{\text{ЧЕЛ}}\right)^2}, \quad (6)$$

причем при значениях  $0 \leq R^{\text{ТТ}} \leq 1$  – определяют экологически благоприятное состояние территориальной техносферы, что соответствует состоянию экологического благополучия человека  $S^{\text{ЭБЧ}}$ ; при значениях  $R^{\text{ТТ}} > 1$  определяют

экологически неблагоприятное состояние территориальной техносферы, что соответствует состоянию экологического неблагополучия человека  $S^{\overline{\text{ЭБЧ}}}$ .

Интегральный показатель состояния территориальной техносферы, рассчитанный по (6), может быть использован при оценке коморбидности человека по индексу экологической коморбидности  $ECI$ .

### **2.2. Обоснование возможности применения рисков для определения индекса экологической коморбидности**

Для определения  $ECI$  в [4, 15] предлагается формула, учитывающая геоклиматические, экологические и социальные особенности региона проживания человека. Формула включает следующие параметры и шкалы для определения некоторых из них:

– климатическая отягощенность региона проживания человека (КО), вычисляемая как величина, обратная номеру природно-климатической зоны, определяемому в соответствии [18];

– стажевой коэффициент (СК), определяемый по формуле

$$СК = 0,1 \cdot N, \quad (7)$$

где  $N$  – время проживания в природно-климатической зоне, год;

– социально значимые заболевания (СЗЗ), определяемые по [19] (за наличие СЗЗ начисляется 1 балл и 1 балл по соответствующей группе заболеваний, отсутствие заболевания – 0 баллов);

– региональные (РП) и профессиональные (ПП) патологии добавляются по 1 баллу;

– утрата трудоспособности (КУТ): III группа – 1/3 балла; II группа – 1/2 балла; I группа – 1 балл; нет инвалидности – 0 баллов;

– возрастная нагрузка (ВН) определяемая по формуле

$$ВН = 0,01 \cdot V, \quad (8)$$

где  $V$  – возраст пациента, год;

– встречаемость группы заболеваний (ВГЗ) в данном регионе оценивается по 1 баллу за каждую группу заболеваний, характерных для региона проживания пациента.

Формула для расчета индекса  $ECI$  в соответствии с [4, 15]:

$$ECI = ВН + КО + СК + КУТ + РП + ПП + СЗЗ + ВГЗ. \quad (9)$$

Исходя из этого получаем: чем больше значение  $ECI$ , тем больше вероятность формирования бремени болезней у пациента под воздействием геоклиматических и социальных особенностей региона проживания. Но экологические особенности региона проживания в данном случае не учитываются в явном виде.

### **2.3. Усовершенствованная модель индекса экологической коморбидности с учетом интегрального показателя состояния территориальной техносферы**

Анализируя структуру и содержание параметров формулы (9), все слагаемые можно разделить на две группы: *лично обусловленные пара-*

**метры** (ВН, СК, КУТ, ПП) и **территориально обусловленные параметры** (КО, РП, СЗЗ, ВГЗ). К первой группе отнесены возрастная нагрузка, стажевой коэффициент, коэффициент утраты трудоспособности, профессиональные патологии. Ко второй группе – климатическая отягощенность, региональные патологии, социально значимые заболевания, встречаемость группы заболеваний.

На взгляд авторов, необходимо усовершенствовать формулу (9) с учетом уровня экологического благополучия человека, выраженного через интегральный показатель состояния территориальной техносферы, выраженный через риск  $R_j^{TT}$ :

$$ECI = [(ВН+СК+КУТ+ПП) + (КО+РП+СЗЗ+ВГЗ)] \cdot R^{TT}. \quad (10)$$

Это позволит учесть влияние на бремя болезней пациента не только территориально обусловленных параметров, но и их экологическую составляющую, связанную с состоянием биосферы на территории проживания человека, выраженную через величину экологического риска, и интенсивностью работы объектов техносферы, выраженную через величину техногенного риска.

### 3. Результаты исследования

#### 3.1. Результаты имитационного моделирования изменения интегрального показателя состояния территориальной техносферы

Имитационное моделирование проведено с использованием программного комплекса *SimInTech (Simulation in technik)* – российской системы модельно-ориентированного проектирования систем [20]. Логико-динамические схемы системы дифференциальных уравнений (1) приведены на рис. 2.

На рис. 2,*а* приведена общая схема моделирования, учитывающая три фактора риска (аммиак в атмосфере (фактор риска 1), аммиак в гидросфере (фактор риска 2), шум (фактор риска 3)). На рис. 3,*б* приведена схема моделирования изменения состояния трех элементов территориальной техносферы (объекта техносферы, окружающей среды, человека) под воздействием фактора риска.

На рис. 3 приведены результаты имитационного моделирования и показаны изменения величин рисков (техногенного, экологического и для здоровья человека) под воздействием факторов риска; 3,*а* – аммиака в атмосфере (фактор риска 1), 3,*б* – аммиака в гидросфере (фактор риска 2), 3,*в* – шума в зоне жилой застройки (фактор риска 3), 3,*г* – изменение интегрального показателя состояния территориальной техносферы. Графики 1, 4, 7 показывают динамику техногенного риска ( $r_{OT}$ ); 2, 5, 8 – экологического риска ( $r_{OC}$ ); 3, 6, 9 – риска для здоровья человека ( $r_{ЧЕЛ}$ ).

Проведя анализ этих зависимостей для всех факторов риска, можно предположить, что увеличение техногенного риска первой «чувствует» окружающая среда и за счет механизмов ассимиляции компенсирует их воздействие. Но при продолжающемся увеличении значений техногенного риска ее ассимиляционный потенциал уменьшается и становится существенным

риск для здоровья человека. График интегрального показателя состояния территориальной техносферы (рис. 3,2) повторяет эту тенденцию.

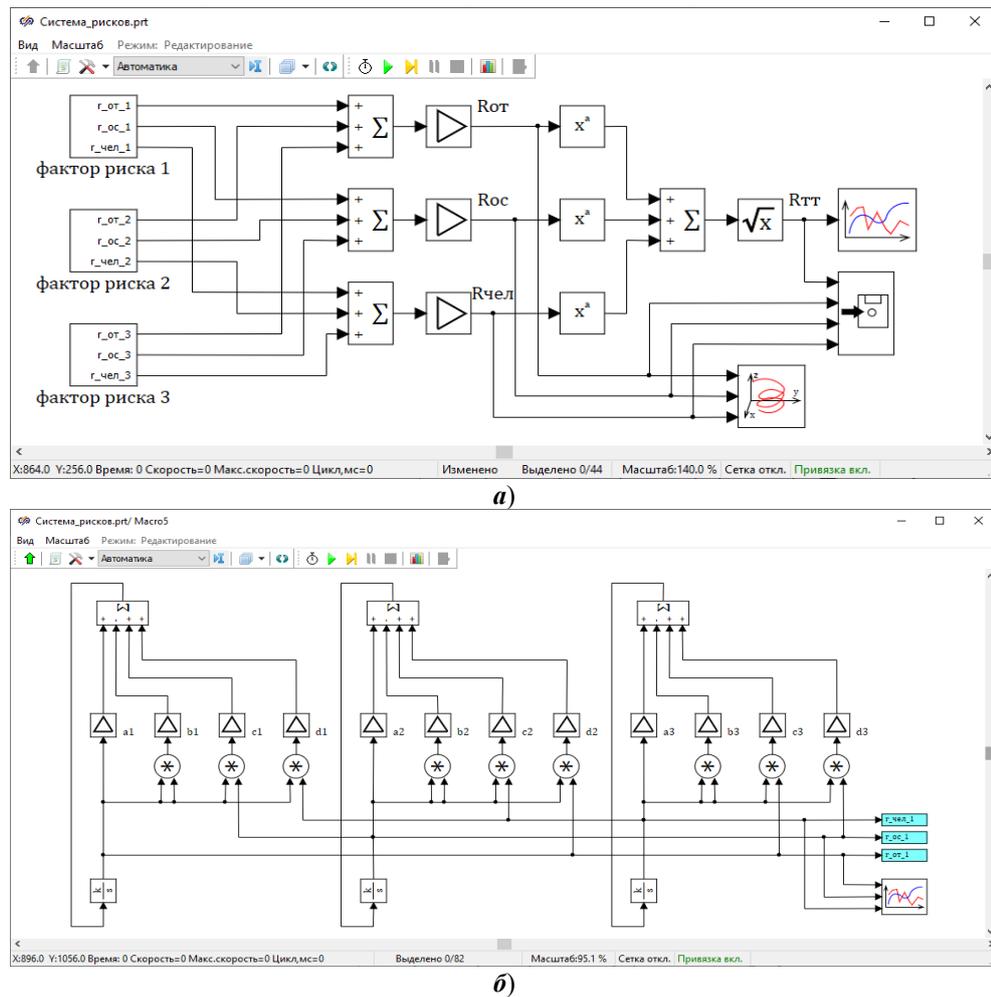


Рис. 2. Схема имитационного моделирования интегрального показателя состояния территориальной техносферы: *а* – общая схема моделирования; *б* – схема моделирования по каждому фактору риска

На рис. 2,*б* проведено моделирование для трех вариантов ситуаций: 1 – абсолютные значения факторов риска меньше предельно допустимых значений, 2 – равны предельно допустимым значениям, 3 – больше предельно допустимых значений. Рассчитанные значения рисков приведены в табл. 2.

Результаты моделирования показывают, что даже если абсолютные значения факторов риска (концентрации, уровни) не превышают или равны предельно допустимым значениям, относительные значения, выраженные через риски, больше предельно допустимых значений. С точки зрения авторов, это объясняется учетом комплексного воздействия различных факторов риска на здоровье человека и взаимным влиянием элементов территориальной техносферы, увеличивающим риск для здоровья человека.

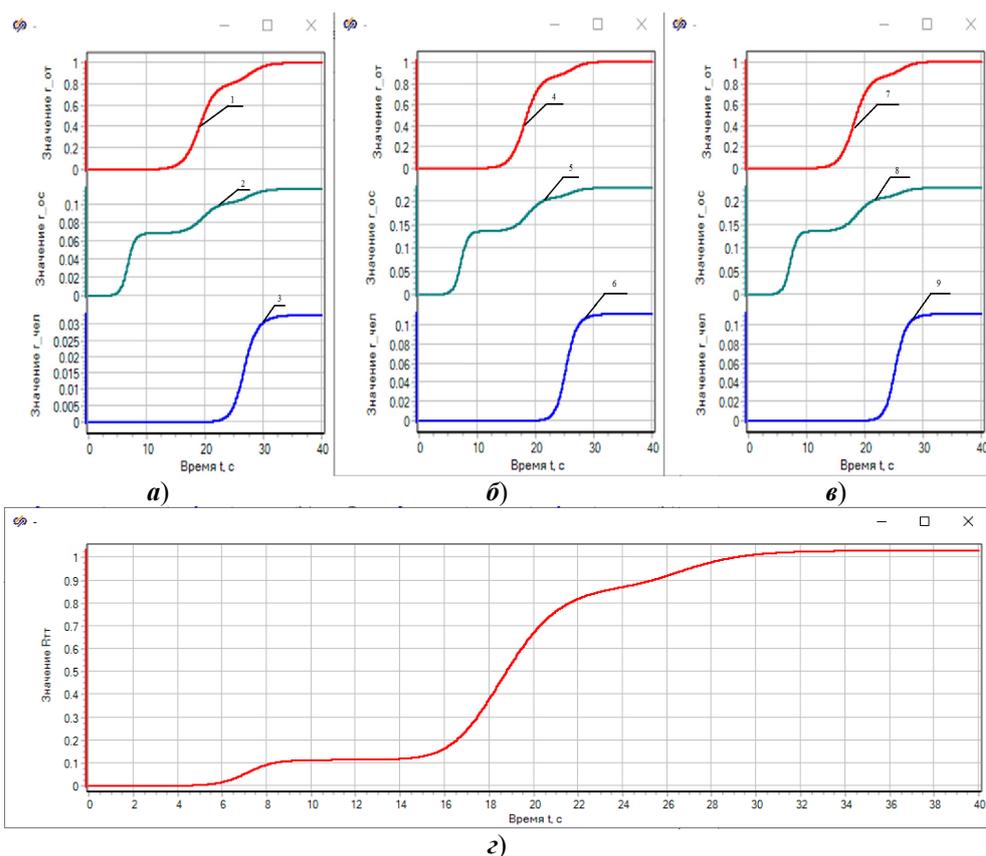


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования  
(а, б, в – изменение значений рисков для трех факторов риска)

Таблица 2

Результаты расчета рисков

Значения фактора риска	Вид риска			
	$R^{TT}$	$R^{OT}$	$R^{OC}$	$R^{ЧЕЛ}$
Меньше нормы	0,795	0,785	0,117	0,046
Норма	1,030	1,009	0,193	0,086
Больше нормы	1,406	1,382	0,206	0,161

### 3.2. Шкала скорректированного индекса экологической коморбидности ECI+, учитывающего влияние интегрального показателя состояния территориальной техносферы

При большом количестве индексов, оценивающих коморбидность, и их широком применении для научных исследований практически отсутствуют сведения о шкалах оценки коморбидности. Так, в [7] приведена шкала оценки коморбидности больных с хронической сердечной недостаточностью на основе индекса коморбидности Чарлсона (*Charlson*), в котором максимальная оценка составляет 31 балл. Исследуемые больные были разделены на три группы: I группу составили больные с индексом коморбидности  $\leq 3$  баллов (низкая коморбидность); II группу – больные с индексом коморбидности 4–5 баллов (умеренно выраженная коморбидность); III группу – больные

с индексом коморбидности  $\geq 6$  баллов (высокая коморбидность).

В работе [21] приведена шкала оценки коморбидности на основе системы *CIRS*, в которой максимальная оценка составляет 56 баллов. При оценке суммы баллов *CIRS* все пациенты разделены на три группы по уровню физического состояния. Пациенты, имеющие состояние, набравшее менее 6 баллов, расцениваются как подходящие для терапии в полном объеме. С пациентами, имеющими состояние, набравшее 6 баллов и более, проводится лечение в щадящем режиме. В отдельную группу выделены пациенты, имеющие состояния и заболевания с краткосрочным прогнозом жизни; таким пациентам проводится поддерживающая терапия.

Учитывая этот опыт и проанализировав диапазон изменения *ECI+* по работам [4, 14], авторы предлагают для оценки скорректированного индекса экологической коморбидности с учетом интегрального показателя состояния территориальной техносферы шкалу, приведенную в табл. 3.

Таблица 3

Шкала оценки скорректированного индекса экологической коморбидности, учитывающего интегральный показатель состояния территориальной техносферы

Диапазон	Граничные значения диапазона	Особенности
1 – низкая коморбидность	до 3	Компенсированный уровень выраженности заболеваний; регулярность посещений врача не реже 1 раз в год; прогнозируемая стоимость лечения – средняя; прогноз лечения – удовлетворительный
2 – умеренно выраженная коморбидность	от 3 до 6	Субкомпенсированный уровень выраженности заболеваний; регулярность посещений врача не реже 2 раз в год; прогнозируемая стоимость лечения – высокая; прогноз лечения – мало удовлетворительный, требуется контроль
3 – высокая коморбидность	более 6	Декомпенсированный уровень выраженности заболеваний; регулярность посещений врача не реже 4 раз в год; прогнозируемая стоимость лечения – очень высокая; прогноз лечения – близкий к неудовлетворительному; требуется постоянный контроль

Указанные в табл. 3 диапазоны оценки коморбидности – это предложение авторов, которое требует дальнейших исследований, учета мнений специалистов (врачей).

Авторы уверены, данная шкала как инструмент будет полезна врачам при принятии решения по индивидуальной схеме лечения пациента.

### Заключение

Имитационные модели, созданные с использованием программного комплекса *SimInTech*, позволяют определить и проанализировать интегральный показатель состояния территориальной техносферы для различных факторов риска.

Результаты работы могут быть использованы при определении экологической коморбидности человека через интегральный показатель состояния территориальной техносферы, выраженный в форме риска.

Для практического использования авторы считают целесообразным предложенную шкалу скорректированного индекса экологической коморбидности *ECI+* при принятии решения по индивидуальной схеме лечения пациента.

### Список литературы

1. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva : World Health Organization, 2009. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44203> (дата обращения: 02.03.2023).
2. Профилактика заболеваний путем оздоровления окружающей среды: глобальная оценка бремени болезней, обусловленных экологическими рисками. Женева : Всемирная организация здравоохранения, 2016. 176 с.
3. Сарсенбаева Г. И., Турсынбекова А. Е. Современные подходы к оценке коморбидности у пациентов // CardioСоматика. 2019. Т. 10, № 1. С. 19–23. doi: 10.26442/22217185.2018.4.180073
4. Рагозин Р. О., Дьячкова Э. Э., Губин Д. Г., Рагозин О. Н. Геопатология и климат в оценке коморбидности // Медицинская наука и образование Урала. 2017. Т. 18, № 1 (89). С. 166–170.
5. Linn B. S., Linn M. W. Gurel L. Cumulative illness rating scale // Journal of the American Geriatrics Society. 1968. Vol. 16. P. 622–626.
6. Современные проблемы экологически зависимых заболеваний населения урбанизированных территорий / под ред. д.м.н., проф. И. А. Аманжол; д.м.н., проф. А. У. Аманбековой. Караганда, 2012.
7. Петров И. М., Дьячкова Э. Э., Гудков А. Б., Рагозин Р. О., Попова О. Н. Сравнительный анализ методов оценки коморбидной патологии населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. 2019. № 3. С. 10–16.
8. Ефремова Е. В., Шутов А. М., Серов В. А., Мензоров М. В. Коморбидность в клинической медицине : учеб.-метод. пособие. Ульяновск : УлГУ, 2016. 28 с.
9. Charlson M. E., Pompei P., Ales K. L. [et al.]. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation // Journal of Chronic Diseases. 1987. Vol. 40. P. 373–83.
10. Kaplan M. H., Feinstein A. R. Acritique of methods in reported studies of long-term vascular complications in patients with diabetes mellitus // Diabetes. 1973. Vol. 22 (3). P. 160–74.
11. Greenfield S., Apolone G. The importance of coexistent disease in the occurrence of postoperative complications and one-year recovery in patients undergoing total hip replacement: Comorbidity and outcomes after hip replacement // Medical Care. 1993. Vol. 31. P. 141–54.
12. Rozzini R., Frisoni G. B., Ferrucci L. [et al.]. GeriatricIndex of Comorbidity: validation and comparison with other measures of comorbidity // Age and Ageing. 2002. Vol. 31 (4). P. 277–85.
13. Grolla D. L., Tob T., Bombardiere C., Wright J. G. The development of a comorbidity index with physical function as the outcome // Journal of Clinical Epidemiology. 2005. Vol. 58 (6). P. 595–602.
14. Preedy V. R., Watson R. R. Handbook of Diseases and a Measure of Quality of Life. New York : Springer, 2010. doi: 10.1007/978-0-387-78665-0
15. Гичев Ю. П. К вопросу классификации экологически обусловленных заболеваний человека для целей изучения влияния загрязнения окружающей среды на здоровье населения // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 1996. Т. 6, № 1. С. 36–41.

16. Патент 2750057 Российская Федерация, МПК G16H 20/00 C1. Способ и система оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи / Безбородова О. Е., Бодин О. Н., Герасимов А. И., Крамм М. Н., Убиенных А. Г., Шерстнев В. В. ; заявитель и правообладатель Пензенский государственный университет. № 2750057 ; заявл. 26.06.2020 ; опубл. 21.06.2021, Бюл. № 18.
17. Патент 2325200 Российская Федерация. Способ и система оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи / Голованов А. В., Ковалев И. В., Чистякова О. Б., Тюков Д. И., Кузнецова Н. В., Гришко Б. В., Рогалев В. И., Березина Н. В., Долинина В. В ; заявитель и правообладатель ГУЗ «Мурманская областная клиническая больница имени П. А. Бандина». № 2325200 ; заявл. 27.01.2006 ; опубл. 27.05.2008, Бюл. № 15.
18. Приказ Минстроя России от 24.12.2020 № 859/пр «Об утверждении СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология»»
19. Постановление Правительства Российской Федерации от 01.12.2004 № 715 «Об утверждении перечня социально значимых заболеваний и перечня заболеваний, представляющих опасность для окружающих» (в ред. Постановления Правительства РФ от 13.07.2012 № 710).
20. Основы моделирования в SimInTech : метод. пособие / сост. Ляшенко А. И., Вент Д. П., Маслова Н. В. ; ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал). Новомосковск, 2018. 42 с.
21. Наумова О. А., Эфрос Л. А. Распространенные методы оценки коморбидности (обзор литературы) // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). doi: 10.23670/IRJ.2022.126.61

### References

1. *Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Geneva: World Health Organization, 2009. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44203>
2. *Profilaktika zabolevaniy putem ozdorovleniya okruzhayushchey sredy: global'naya otsenka bremeni bolezney, obuslovlennykh ekologicheskimi riskami = Preventing disease through environmental health: a global assessment of the burden of disease from environmental risks*. Zheneva: Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya, 2016:176. (In Russ.)
3. Sarsenbaeva G.I., Tursynbekova A.E. Modern approaches to assessing comorbidity in patients. *CardioSomatika = CardioSomatika*. 2019;10(1):19–23. (In Russ.). doi: 10.26442/22217185.2018.4.180073
4. Ragozin R.O. D'yachkova E. E., Gubin D.G., Ragozin O.N. Geopathology and climate in the assessment of comorbidity. *Meditinskaya nauka i obrazovanie Urala = Medical science and education of the Urals*. 2017;18(1):166–170. (In Russ.)
5. Linn B.S., Linn M.W. Gurel L. Cumulative illness rating scale. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1968;16:622–626.
6. Amanzhol I.A., Amanbekova A.U. (eds.). *Sovremennye problemy ekologicheski zavisimykh zabolevaniy naseleniya urbanizirovannykh territoriy = Modern problems of environmentally dependent diseases of the population of urbanized territories*. Karaganda, 2012. (In Russ.)
7. Petrov I.M., D'yachkova E.E., Gudkov A.B., Ragozin R.O., Popova O.N. Comparative analysis of methods for assessing comorbid pathology in the population of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. *Ekologiya cheloveka = Human ecology*. 2019;(3):10–16. (In Russ.)
8. Efremova E.V., Shutov A.M., Serov V.A., Menzorov M.V. *Komorbidnost' v klinicheskoy meditsine: ucheb.-metod. posobie = Comorbidity in clinical medicine: textbook*. Ulyanovsk: UIGU, 2016:28. (In Russ.)

9. Charlson M.E., Pompei P., Ales K.L. et al. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *Journal of Chronic Diseases*. 1987;40:373–83.
10. Kaplan M.H., Feinstein A.R. Acritique of methods in reported studies of long-term vascular complications in patients with diabetes mellitus. *Diabetes*. 1973;22(3):160–74.
11. Greenfield S., Apolone G. The importance of coexistent disease in the occurrence of postoperative complications and one-year recovery in patients undergoing total hip replacement: Comorbidity and outcomes after hip replacement. *Medical Care*. 1993;31:141–54.
12. Rozzini R., Frisoni G.B., Ferrucci L. et al. GeriatricIndex of Comorbidity: validation and comparison with other measures of comorbidity. *Age and Ageing*. 2002;31(4):277–85.
13. Grolla D.L., Tob T., Bombardieri C., Wright J.G. The development of a comorbidity index with physical function as the outcome. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2005;58(6):595–602.
14. Preedy V.R., Watson R.R. *Handbook of Diseases and a Measure of Quality of Life*. New York: Springer, 2010. doi: 10.1007/978-0-387-78665-0
15. Gichev Yu.P. Способ и система оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk) = Siberian medical journal*. 1996;6(1):36–41. (In Russ.)
16. Patent 2750057 Russian Federation, IPC G16H 20/00 C1. *Sposob i sistema optimizatsii lechebno-diagnosticheskoy meditsinskoy pomoshchi = Method and system for optimizing diagnostic and treatment medical care*. Bezborodova O.E., Bodin O.N., Gerasimov A.I., Kramm M.N., Ubiennykh A.G., Sherstnev V.V.; applicant and patent holder Penzenskiy gosudarstvennyy universitet. № 2750057; appl. 26.06.2020; publ. 21.06.2021, Bull. № 18. (In Russ.)
17. Patent 2325200 Russian Federation. *Sposob i sistema optimizatsii lechebno-diagnosticheskoy meditsinskoy pomoshchi = Method and system for optimizing diagnostic and treatment medical care*. Golovanov A.V., Kovalev I.V., Chistyakova O.B., Tyukov D.I., Kuznetsova N.V., Grishko B.V., Rogalev V.I., Berezina N.V., Dolinina V.V.; applicant and patent holder GUZ «Murmanska oblastnaya klinicheskaya bol'nitsa imeni P.A. Bandina». № 2325200; appl. 27.01.2006; publ. 27.05.2008, Bull. № 15. (In Russ.)
18. Order of the Ministry of Construction of Russia from December 24, 2020 No.859/pr “On the approval of the Set of Rules 131.13330.2020 “Building code 23-01-99\* Construction climatology”” (In Russ.)
19. Decree of the Government of the Russian Federation from December 1, 2004 No.715 “On approval of the list of socially significant diseases and the list of diseases that pose a danger to others” (Decree of the Government of the Russian Federation edited from July 13, 2012 No. 710). (In Russ.)
20. Lyashenko A.I., Vent D.P., Maslova N.V. (comp.). *Osnovy modelirovaniya v SimInTech: metod. posobie = Basics of modeling in SimInTech: textbook*. Novomoskovsk, 2018:42. (In Russ.)
21. Naumova O.A., Efros L.A. Common methods for assessing comorbidity (literature review). *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Scientific Research Journal*. 2022;(12). (In Russ.). doi: 10.23670/IRJ.2022.126.61

#### Информация об авторах / Information about the authors

##### **Оксана Евгеньевна Безбородова**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой техносферной  
безопасности, Пензенский  
государственный университет (Россия,  
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: oxana243@yandex.ru

##### **Oksana E. Bezborodova**

Candidate of engineering sciences, associate  
professor, head of the sub-department  
of technosphere safety, Penza State  
University (40 Krasnaya street,  
Penza, Russia)

***Андрей Ильич Герасимов***

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры электроэнергетики  
и электротехники, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

***Andrey I. Gerasimov***

Candidate of technical sciences, associate  
professor, associate professor of the  
sub-department of electricity and electrical  
engineering, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

***Олег Николаевич Бодин***

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры информационно-  
измерительной техники и метрологии,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40); профессор кафедры  
технического управления качеством,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, пр. Байдукова /  
ул. Гагарина, 1а/11)

***Oleg N. Bodin***

Doctor of engineering sciences, professor,  
professor of the sub-department  
of information-measuring equipment  
and metrology, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia);  
professor of the sub-department of technical  
quality management, Penza State  
Technological University (1a/11 Baydukova  
passage/Gagarina street, Penza, Russia)

***Фәгим Касымович Рахматуллов***

доктор медицинских наук, профессор,  
заведующий кафедрой внутренних  
болезней, Медицинский институт,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

***Fagim K. Rakhmatullov***

Doctor of medical sciences, professor,  
head of the sub-department of internal  
medicine, Medical Institute,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

***Алексей Анатольевич Трофимов***

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры информационно-  
измерительной техники и метрологии,  
Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

***Aleksey A. Trofimov***

Doctor of engineering sciences, associate  
professor, professor of the sub-department  
of information-measuring equipment  
and metrology, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 05.04.2023**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 25.05.2023**

**Принята к публикации / Accepted 10.06.2023**