

УДК 614.715+658.26:616-006  
DOI: 10.26435/UC.V014(41).734

Д.Р. Садеков, А.Б. Ермаченко, В.С. Котов

ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

## ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

В современных условиях проблема увеличения частоты и тяжести заболеваний, обусловленных влиянием вредных факторов среды обитания, является одной из актуальных. Среди загрязнителей атмосферного воздуха выделяют около 1000 канцерогенных веществ. По данным Международного агентства по изучению рака (МАИР), возникновение примерно 85% опухолей у человека можно связать с системным воздействием химических факторов риска аэротехногенного генеза [1, 2].

Учитывая значимость проблемы и необходимость своевременного выявления и осуществления динамического контроля за факторами окружающей среды, которые могут обусловить рост онкозаболеваемости среди населения, возникает необходимость в определении уровня канцерогенного риска от промышленных загрязнителей, то есть идентификации вероятности возникновения негативного эффекта вследствие влияния определенного вредного фактора [3].

**Целью** настоящего исследования является оценка риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферного воздуха выбросами предприятия теплоэнергетики г. Новый Свет за период 2010-2015 гг.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выбран населенный пункт г. Новый Свет (НС), на территории которого расположена Старобешевская ТЭС мощностью 2300 МВт. Энергетическим сырьем служит уголь, добываемый на шахтах Донецкого региона. Установлены зоны наблюдения, расположенные на расстоянии до 3000 м (I зона), и от 3000 до 6000 м (II зона) от ТЭС. Численность населения, проживающего в I зоне, составляла 2550, во II зоне – 6500 человек.

На начальном этапе идентификации опасности были установлены основные источники поступления химических веществ в окружающую

среду г. Новый Свет. Источником информации о предприятии, осуществляющем выбросы загрязняющих веществ, и перечне выбрасываемых химических соединений послужили отчетные формы «2-ТП Воздух», показатели подфакельных исследований промышленной лаборатории Старобешевской ТЭС за 2010-2015 годы, а также данные собственных исследований.

Риск влияния факторов окружающей среды оценивался в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р.2.1.10.1920-04) [4].

Для канцерогенных эффектов определялся пожизненный риск. При этом предполагалось, что существующие уровни воздействующих доз сохранятся и в будущем. Пожизненный ингаляционный канцерогенный риск (вероятность возникновения онкологического заболевания от вдыхания вещества, идентифицированного как канцероген) вычислялся по формуле 1:

$$Cri = LADD \times SFi,$$

где LADD – среднесуточная доза в течение жизни, мг/кг × сут; SFi – фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг×день)<sup>-1</sup>.

При оценке канцерогенных рисков используют средние суточные дозы, усредненные с учетом ожидаемой средней продолжительности жизни человека, по формуле 2:

$$LADD = \frac{((Ca \times Tout \times Vout) + (Ch \times Tin \times Vin)) \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365},$$

где Ca – концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>; Ch – концентрация вещества в атмосферном воздухе помещения, мг/м<sup>3</sup> (1,0×Ca); Tout – время, которое проводится вне помещения, час/сутки (8 час/сутки); Tin – время, которое проводится в помещении, час/сутки (16 час/сутки); Vout – скорость дыхания вне поме-

щения, м<sup>3</sup>/час (1,4 м<sup>3</sup>/час); *V<sub>in</sub>* – скорость дыхания в помещении, м<sup>3</sup>/час (0,63 м<sup>3</sup>/час); *EF* – частота воздействия, дней/год (350 дней/год); *ED* – длительность воздействия, лет (30 лет, взрослые); *BW* – масса тела, кг (70 кг, взрослые); *AT* – период осреднения экспозиции, лет (для канцерогенов 70 лет).

При воздействии нескольких канцерогенов суммарный канцерогенный риск для данного пути поступления рассчитывался по формуле 3:

$$CR_T = \sum CR_j$$

где *CRT* – общий канцерогенный риск для пути поступления *T*; *CR<sub>j</sub>* – канцерогенный риск для *j*-го канцерогенного вещества.

Индивидуальный пожизненный риск смерти от вдыхания атмосферных примесей рассчитывался по формуле 4:

$$R = C \times EФР,$$

где *C* – средняя концентрация атмосферной примеси (за последние 5 лет мониторинга), мг/м<sup>3</sup>; *EФР* – единичный фактор риска (риск на единицу концентрации токсичного вещества).

Единичный фактор риска устанавливался по формуле 5:

$$EФР = (A \times en \times 365 \text{сут.} \times 30 \text{лет} \times 100) / 100,$$

где *A* – среднесуточный уровень смертности на 1 человека анализируемой популяции; *en* – нормированный коэффициент эластичности при факторе загрязнения атмосферного воздуха (%), показывающий, на сколько процентов про-

исходит изменение смертности при увеличении суточной концентрации атмосферной примеси на 10 мкг/м<sup>3</sup>; 30 лет – период воздействия для неканцерогенных веществ; 100 (в числителе) – переход от 10мкг/м<sup>3</sup> к 1мг/м<sup>3</sup>; 100 (в знаменателе) – переход от % к долям единицы.

Наряду с расчетами индивидуального канцерогенного риска проводилось определение популяционного риска (*PCR*), отражающего дополнительное (к фоновому) число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия исследуемого фактора, по формуле 6:

$$PCR = CR \times POP,$$

где *CR* – индивидуальный канцерогенный риск; *POP* – численность исследуемой популяции, чел.

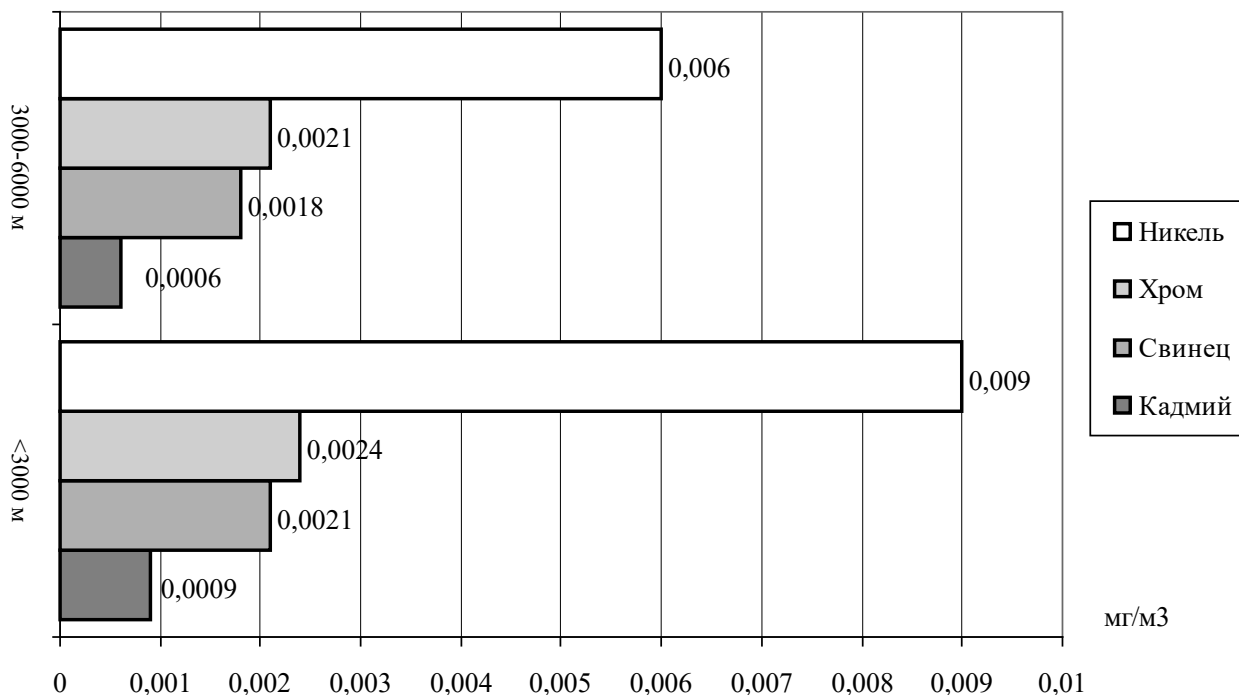
Величину популяционного годового риска (*PCRa*), который являет собой расчет количества дополнительных случаев рака в течение года, рассчитывали по формуле 7:

$$PCRa = CR \times POP / 70,$$

где *CR* – индивидуальный канцерогенный риск; *POP* – численность популяции, которая подвержена влиянию, чел.

*A=70* – величина, отражающая количество лет, в течение которых индивидуум подвергается воздействию.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием компьютерной программы *MedStat*.



**Рис.** Содержание канцерогенных веществ в атмосферном воздухе на различных удалениях от Старобешевской ТЭС за период с 2010 по 2015 год

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Никель, свинец, кадмий и хром (VI) являются приоритетными веществами канцерогенного риска для здоровья населения г. Новый Свет от загрязнения атмосферного воздуха. Приоритетность установили на основе изучения информации о канцерогенности, физико-химических свойств валовых выбросов в атмосферный воздух, среднегодовых и максимально годовых концентраций всех канцерогенных химических веществ, которые присутствуют в атмосферном воздухе населенного пункта.

Данные о среднегодовых концентрациях и зональное распределение канцерогенных веществ в атмосферном воздухе за период с 2010 по 2015 год представлены на рисунке.

Наиболее значимые превышения были характерны для никеля в сравнении с ПДКсс в 9,0 раз для 1-ой зоны наблюдения и в 6,0 раз – для 2-ой зоны соответственно. Следует также обратить внимание на то, что такие высокотоксичные металлы, как кадмий, хром и свинец, определялись в количествах выше ПДКСС.

Для определения величины канцерогенного риска установлено их количественное поступление в организм человека с расчетом средних суточных доз влияния, стандартизированных с учетом средней продолжительности жизни (70 лет), средней массы тела человека (70 кг) и зоны наблюдения. Величины средних суточных доз влияния (LADD) канцерогенных веществ приведены в таблице 1.

В профилактике отдаленных последствий весьма актуальной остается оценка канцерогенного риска (CR) для здоровья, что позволит заблаговременно выявить факторы риска и разработать комплекс мероприятий по их устранению. При этом должен учитываться дифференцированный подход с выделением приоритетных факторов риска для каждой территории [5, 6].

Индивидуальный ингаляционный канцерогенный риск, исчисленный по зонам г. Новый Свет, представлен в таблице 2.

Величина индивидуального канцерогенного риска (CR) от загрязнения атмосферного воздуха по районам города варьировала от  $1,21 \times 10^{-2}$  до  $0,1 \times 10^{-6}$ . Ведущая роль в формировании кан-

**Таблица 1.**

Факторы канцерогенного потенциала и величины средних суточных доз влияния канцерогенных веществ на организм человека

Вещества	CAS*	Sf <sub>i</sub> , (мг/кг×время) <sup>-1</sup>	Источник	ЭРА	МАИР	LADD (мг/кг×время) <sup>-1</sup>	
						1 зона	2 зона
Никель	7440-02-0	0,84	CalEPA	A	2B	0,00112	0,00075
Свинец	7439-92-1	0,042	C	B2	2B	0,00026	0,00023
Кадмий	7440-43-9	6,3	ATSDR	B1	1	0,00011	0,00008
Хром (VI)	18540-29-9	42	I	A	1	0,00029	0,00026

*Примечание:* CAS – регистрационный номер, который является уникальной идентификационной характеристикой веществ или их смесей, Sf<sub>i</sub> – фактор канцерогенного потенциала, I – интегрированная информационная система о рисках IRIS, C (CalEPA) – калифорнийское Агентство по охране окружающей среды, ATSDR – Агентство по токсическим соединениям и регистру заболеваний, EPA – классификация U.S.EPA, МАИР – классификация Международного агентства по изучению рака.

**Таблица 2.**

Индивидуальный канцерогенный риск, связанный с загрязнением атмосферного воздуха (CR), по зонам наблюдения г. Новый Свет,  $\times 10^{-6}$

Загрязнитель	Зона наблюдения			
	I (до 3000 м)		II (3000-6000 м)	
	CR	Уд. вес в риске, %	CR	Уд. вес в риске, %
Хром (VI)	12180	88,1	10920	90,5
Свинец	10,92	0,1	9,66	0,1
Никель	940,8	6,8	630,0	5,2
Кадмий	693,0	5,0	504,0	4,2
Суммарный канцерогенный риск (TCR)	13824,72	100	12063,66	100

**Таблица 3.**

Показатели пожизненного ингаляционного канцерогенного риска (PCR), связанного с загрязнением атмосферного воздуха, по зонам наблюдения г. Новый Свет

Канцерогены	Зона наблюдения	
	I (до 3000 м)	II (3000-6000 м)
Хром (VI)	0,0288	0,0252
Свинец	0,0000252	0,0000216
Никель	0,00216	0,00144
Кадмий	0,00162	0,00108
Суммарный риск	0,03261	0,02774

**Таблица 4.**

Популяционный канцерогенный риск, связанный с загрязнением атмосферного воздуха в г. Новый Свет

Зона наблюдения	Дополнительное (к фоновому) число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть при 70-летней экспозиции (PCR)	Относительный годовой риск, число дополнительных случаев в год на 10 тыс. населения	Доля в фоновой смертности от новообразований, %
I (до 3000 м)	31	1,74	7,5
II (3000-6000 м)	78	1,71	5,8
Всего	109	1,72	13,3

церогенного риска от контролируемых в системе мониторинга веществ установлена для хрома (VI) – 88,1-90,5%, в зависимости от расстояния до источника выбросов в атмосферу. Уровень индивидуального канцерогенного риска для хрома в атмосферном воздухе характеризуется как неприемлемый (высокий) ( $1,21 \times 10^{-2}$ ). Для свинца, никеля и кадмия уровень индивидуального канцерогенного риска находится в пределах допустимого (низкого) риска, при таком уровне риска отмечается тенденция к росту фонового уровня заболеваемости. Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут потребоваться дополнительные мероприятия по их снижению.

Суммарный канцерогенный риск заболеваемости населения в I зоне наблюдения установлен для канцерогенных веществ, присутствующих в выбросах ТЭС, на уровне  $1,38 \times 10^{-2}$ , что в 1,15 раза выше, чем во II зоне ( $1,20 \times 10^{-2}$ ). Уровень суммарного канцерогенного риска характеризуется как высокий, неприемлемый для производственных условий и населения, при этом необходимо проводить мероприятия по устранению или снижению риска для населения, проживающего на данной территории.

Вероятность возникновения онкологического заболевания от вдыхания веществ, идентифицированных как канцерогены, по зонам на-

блюдения г. Новый Свет установлена для I зоны наблюдения 0,03261, что в 1,2 раза выше, чем во II зоне города (0,02774). Наиболее высока вероятность возникновения злокачественных новообразований при вдыхании хрома (VI): в I зоне наблюдения она составила 0,0288, что в 1,14 раз выше, чем для II зоны (0,0252) (табл. 3.).

Установлено, что при сложившейся экологической ситуации в г. Новый Свет на протяжении 70-летнего периода вероятно ожидать дополнительно к фоновому уровню 109 случаев онкологических заболеваний (1,72 случая в год на 10000 человек населения), доля в фоновой смертности от новообразований составила 13,3% (табл. 4.).

## Выводы

1. Приоритетными веществами канцерогенного риска для здоровья населения г. Новый Свет от загрязнения атмосферного воздуха выбросами ТЭС являются никель, свинец, кадмий и хром (VI).

2. Величина индивидуального канцерогенного риска (CR) от загрязнения атмосферного воздуха по районам города варьировала от  $1,21 \times 10^{-2}$  до  $0,1 \times 10^{-6}$ .

Ведущая роль в формировании канцерогенного риска от контролируемых в системе мониторинга веществ установлена для хрома (VI) – 88,1-90,5%, в зависимости от расстояния до источника выбросов в атмосферу. Уровень инди-

видуального канцерогенного риска для хрома в атмосферном воздухе характеризуется как неприемлемый (высокий) –  $1,21 \times 10^{-2}$ .

3. Суммарный канцерогенный риск заболеваемости населения в I зоне наблюдения установлен для канцерогенных веществ, присутствующих в выбросах ТЭС на уровне  $1,38 \times 10^{-2}$ , что в 1,15 раза выше, чем во II зоне ( $1,20 \times 10^{-2}$ ).

4. Уровень суммарного канцерогенного риска характеризуется как высокий, неприемлемый для производственных условий и населения, при этом необходимо проводить мероприятия по устранению или снижению риска для населения, проживающего на данной территории.

5. Вероятность возникновения онкологического заболевания от вдыхания веществ, иден-

тифицированных как канцерогены, по зонам наблюдения г. Новый Свет установлена для I зоны наблюдения 0,03261, что в 1,2 раза выше, чем во II зоне (0,02774). Наиболее высока вероятность возникновения злокачественных новообразований при вдыхании хрома (VI) в I зоне – 0,0288.

6. Установлено, что на протяжении 70-летнего периода при сложившейся экологической ситуации в г. Новый Свет вероятно ожидать дополнительно к фоновому уровню 109 случаев онкологических заболеваний за счет ингаляционного поступления канцерогенов (1,72 случая в год на 10000 населения), доля в фоновой смертности от новообразований составит 13,3%.

---

**Д.Р. Садеков, А.Б. Ермаченко, В.С. Котов**

ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького», Донецк

#### **ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

Проведена оценка риска развития канцерогенных эффектов выбросов теплоэлектростанции у населения, проживающего в зоне ее влияния, от приоритетных канцерогенных веществ (никель, свинец, кадмий и хром (VI)). Суммарный канцерогенный риск заболеваемости населения установлен на уровне от  $1,38 \times 10^{-2}$  до  $1,20 \times 10^{-2}$ . Уровень суммарного канцерогенного риска характеризуется как высокий, неприемлемый для производственных условий и населения, при этом необходимо проводить мероприятия по устранению или снижению риска для населения, проживающего на данной территории.

Вероятность возникновения онкологических заболеваний населения города Новый Свет от вдыхания канцерогенных веществ составила 0,03261-0,02774. При сложившейся экологической ситуации на протяжении 70-летнего периода следует ожидать дополнительно к фоновому уровню 109 случаев онкологических заболеваний за счет ингаляционного поступления канцерогенов, доля в фоновой смертности от новообразований составит 13,3%.

**Ключевые слова:** канцерогенный риск, выбросы теплоэлектростанции.

---

**D.R. Sadekov, A.B. Ermachenko, V.S. Kotov**

SEI HPE «M. Gorky Donetsk National Medical University», Donetsk

#### **ASSESSMENT OF A CARCINOGENIC RISK FOR PUBLIC HEALTH UNDER EXPOSURE TO ATMOSPHERIC POLLUTION IN THE AREA OF LOCATION OF A HEAT POWER INDUSTRY**

The risk assessment of the development of carcinogenic effects of emissions from a thermal power plant among the population living in the zone of its influence from priority carcinogenic substances (nickel, lead, cadmium and chromium (VI)) was carried out. The total carcinogenic risk of morbidity of the population was established at  $1.38 \times 10^{-2}$ – $1.20 \times 10^{-2}$ . The level of total carcinogenic risk is characterized as high, unacceptable for the working environment and the population, while it is necessary to take measures to eliminate or reduce the risk for the population living in the area.

The probability of oncological disease in the population of the city of Novy Svet from inhalation of carcinogenic substances was 0.03261-0.02774. Given the current environmental situation over the 70-year period, in addition to the background level, 109 cases of oncological diseases due to inhalation of carcinogens should be expected, the share in the background mortality from neoplasms will be 13.3%

Key words: carcinogenic risk, emissions from a thermal power plant.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Авалиани С.Л., Безпалько Л.Е., Бобкова Т.Е. Перспективные направления развития методологии анализа риска в России. Гигиена и санитария. 2013; 1: 33-35.
2. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., May I.V., Alekseev V.B., Trusov P.V., Khrushcheva E.V., Savochkina A.A. Efficiency of health risk mitigation: complex assessment based on fuzzy sets theory and applied in planning activities aimed at ambient air protection. Health Risk Analysis. 2020; 1: 25-37. doi: 10.21668/health.risk/2020.1.03.eng
3. Yiqun Zhang, Di Wu, Chenxing Wang, Xiao Fu, Gang Wu Impact of coal power generation on the characteristics and risk of heavy metal pollution in nearby soil. Ecosystem Health and Sustainability. 2020; 6, 1. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20964129.2020.1787092> doi: 10.1080/20964129.2020.1787092
4. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004. 143.
5. Захаренков В.В., Кислицына В.В. Оценка риска нарушения здоровья работников угольной теплоэлектростанции от воздействия производственных факторов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014; 1-2: 168-170.
6. Панков В.А., Кулешова М.В. Оценка условий труда, состояния здоровья и профессионального риска работников предприятий теплоэнергетики. Гигиена и санитария. 2019; 7: 766-770.

**REFERENCES**

1. Avaliani S.L., Bezpal'ko L.E., Bobkova T.E. Perspektivnye napravleniya razvitiya metodologii analiza riska v Rossii. Gigiena i sanitariya. 2013; 1: 33-35 (in Russian).
2. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., May I.V., Alekseev V.B., Trusov P.V., Khrushcheva E.V., Savochkina A.A. Efficiency of health risk mitigation: complex assessment based on fuzzy sets theory and applied in planning activities aimed at ambient air protection. Health Risk Analysis. 2020; 1: 25-37. doi: 10.21668/health.risk/2020.1.03.eng
3. Yiqun Zhang, Di Wu, Chenxing Wang, Xiao Fu, Gang Wu Impact of coal power generation on the characteristics and risk of heavy metal pollution in nearby soil. Ecosystem Health and Sustainability. 2020; 6, 1. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20964129.2020.1787092> doi: 10.1080/20964129.2020.1787092
4. Р 2.1.10.1920-04. Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredyu. M: Federal'nyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii; 2004. 143 (in Russian).
5. Zakharenkov V.V., Kislitsyna V.V. Otsenka riska narusheniya zdorov'ya rabotnikov ugol'noi teploelektrostantsii ot vozdeistviya proizvodstvennykh faktorov. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2014; 1-2: 168-170 (in Russian).
6. Pankov V.A., Kuleshova M.V. Otsenka uslovii truda, sostoyaniya zdorov'ya i professional'nogo riska rabotnikov predpriyatii teploenergetiki. Gigiena i sanitariya. 2019; 7: 766-770 (in Russian).