

Использование моделей эволюции риска для определения уровней риска развития заболеваний при воздействии факторов производственной среды и трудового процесса

Фокин В.А., Редько С.В.

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», ул. Монастырская, 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* Анализ изменения с течением времени величины профессионального риска у работающих, проводимый на базе эволюционных моделей, позволяет спрогнозировать отдаленные последствия, связанные с воздействием производственных факторов. Результаты данного анализа могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий. *Цель исследования* – апробация использования эволюционного моделирования для целей оценки зависимости распространенности профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний у работников от факторов производственной среды и трудового процесса. *Материалы и методы.* С целью выявления зависимости состояния здоровья трудящихся от условий труда проводилась эпидемиологическая оценка в соответствии с требованиями руководства Р 2.2.1766-03. Параметры парных математических моделей, построенных для различных уровней экспозиции, были использованы для моделей эволюции риска. Эволюционная модель учитывает накопление функциональных изменений, происходящих в организме за счет внешних причин. *Результаты и обсуждение.* По данным моделей эволюции риска было установлено, что при работе с 20 лет в условиях шума, превышающего ПДУ, к 48 годам формируется очень высокий уровень риска развития нейросенсорной тугоухости (в период с 36 до 47 лет риск развития нейросенсорной тугоухости является высоким, с 24 до 35 лет – умеренным). Согласно модели эволюции риска здоровью работающих, при работе с 20 лет в условиях вибрации, превышающей ПДУ, в период с 46 до 65 лет риск развития заболеваний костно-мышечной системы и соединительной ткани является умеренным. При работе в условиях воздействия ксилола на уровне, не превышающем ПДК, риск развития заболеваний нервной системы оценивается как пренебрежимо малый.

Ключевые слова: профессиональный риск, производственные факторы, шум, вибрация, эволюционные модели.

Для цитирования: Фокин В.А., Редько С.В. Использование моделей эволюции риска для определения уровней риска развития заболеваний при воздействии факторов производственной среды и трудового процесса // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 7 (328). С. 20–23. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-328-7-20-23>

The Use of Risk Evolution Models in Evaluation of Risk Levels for Diseases Developing under the Influence of Factors of Occupational Environment and Work Process

V.A. Fokin, S.V. Redko

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,
82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

Abstract. *Background:* The analysis of temporal changes in the value of occupational risk for workers based on evolutionary models helps predict long-term effects of occupational factors and develop effective preventive measures. *The objective of our study* was to test application of evolutionary modeling to assessing the relationship between prevalence rates of occupational and occupation-related diseases in workers induced by various factors of occupational environment and work processes. *Materials and methods:* We made epidemiological assessment of the association between workers' health and working conditions in compliance with the requirements of Guidelines R 2.2.1766-03. The parameters of paired mathematical models constructed for different exposure levels were used for risk evolution models accounting for accumulation of functional changes attributed to external causes. *Results and discussion:* The results of risk evolution modeling showed that 20 years of high occupational noise exposures exceeding the maximum permissible level posed a very high risk of developing sensorineural hearing loss by the age of 48, this risk being high and moderate in the age ranges of 36–47 and 24–35, respectively. According to the same model, 20-year-long high occupational vibration exposures exceeding the maximum permissible level posed a moderate risk of developing diseases of the musculoskeletal system and connective tissue in workers aged 46–65. The risk of developing diseases of the nervous system posed by xylene exposures below the maximum permissible level was assessed as negligible.

Key words: occupational risk, industrial factors, noise, vibration, evolutionary models.

For citation: Fokin VA, Redko SV. The use of risk evolution models in evaluation of risk levels for diseases developing under the influence of factors of occupational environment and work process. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (7(328)):20–23. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-328-7-20-23>

Author information: Fokin V.A., <https://orcid.org/0000-0002-0539-7006>; Redko S.V., <http://orcid.org/0000-0002-2736-5013>.

Введение. Трудовая деятельность, исходя из характера условий труда, технических, экономических и организационных различий, предъявляет к работникам определенные требования, обеспечивающие профессиональную пригодность, характеризующую, в том числе, соответствием возможностей организма условиям сохранения здоровья на протяжении периода трудовой активности [1]. В настоящее время сохраняется проблема воздействия производственных факторов, способных приводить к развитию производственно обусловленных заболеваний различной степени тяжести [2]. Это, в сочетании с поздней диагностикой, приводит к снижению периода профессиональной трудоспособности

у лиц различных возрастов [3]. Комплексное воздействие указанных факторов способствует формированию профессиональной патологии и производственно обусловленных заболеваний за счет запуска патогенетических механизмов в организме [4]. Одним из наиболее неблагоприятных исходов данного вида патологии как для работника, так и для работодателя является ограничение трудоспособности, в некоторых случаях вплоть до инвалидизации, что влечет за собой финансовые потери [5–8].

Трудовой процесс в горнорудной промышленности, занимающей одно из ведущих мест в экономике страны, характеризуется комплексом неблагоприятных факторов. Процедура внедрения

средств по снижению влияния шума, вибрации, взвешенных веществ часто отстает от модернизации производства, что может привести к изменению показателей общей соматической и профессиональной патологии работников данной отрасли [9–11]. Для нефтехимических и нефтедобывающих производств ведущими вредными факторами являются химические вещества, шум [12–15].

Анализ изменения с течением времени величины профессионального риска у работающих, проводимый на базе эволюционных моделей [16], позволяет спрогнозировать отдаленные последствия, связанные с воздействием производственных факторов. Результаты данного анализа могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий.

Цель исследования — апробация использования эволюционного моделирования для целей оценки зависимости распространенности профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний у работников от факторов производственной среды и трудового процесса.

Материалы и методы. Для изучения влияния факторов трудового процесса на организм работников горнодобывающей отрасли. В группу наблюдения вошли 138 работников горнодобывающей отрасли — машинистов горных выемочных машин (ГВМ) — мужчины, возраст $36,5 \pm 1$ лет, стаж $7,2 \pm 0,9$ года. В группу сравнения вошли 53 работника, занятые профессиональной деятельностью на поверхности (мужчины, возраст $40,1 \pm 2,6$ лет, стаж $5,9 \pm 1,8$ лет).

Рабочие места группы наблюдения сходны по воздействующим факторам и их величине, работники выполняют идентичные профессиональные обязанности. Условия труда данной группы работников при сочетанной оценке в соответствии с Руководством Р 2.2.2006–05¹ относятся к вредным третьей степени (класс условий труда 3.3). Уровень профессионального риска, соответствующий данным условиям труда, по результатам априорной оценки классифицируется как высокий. К ведущим факторам, оказывающим влияние на трудящихся и определяющим структуру риска, относятся вибрация, производственный шум, пыль, тяжесть трудового процесса и параметры микроклимата.

С целью изучения влияния факторов производственной среды и трудового процесса на заболеваемость работников нефтедобывающей промышленности были выбраны работники, на которых в ходе трудовой деятельности оказывают влияние производственный шум, электромагнитное излучение, общая вибрация, микроклимат, химические вещества в воздухе рабочей зоны и тяжесть трудового процесса. Группа сравнения отбиралась по критериям сопоставимости: полу, возрасту, стажу и отсутствию воздействия вредных факторов производственной среды.

В группу наблюдения вошли 294 работника (56 женщин, 238 мужчин, возраст $43,4 \pm 2,3$

года, стаж $12,7 \pm 1,8$ лет), осуществляющих работу по предварительной подготовке нефти и сбору продукции скважин. В группу наблюдения вошли 70 работников управления, из них 16 женщин и 54 мужчины, средний возраст $40,3 \pm 1,9$ года, стаж $11,1 \pm 2$ года.

С целью выявления зависимости состояния здоровья трудящихся от условий труда проводилась эпидемиологическая оценка в соответствии с требованиями руководства Р 2.2.1766–03².

Математические модели, отражающие зависимость «экспозиция — ответ», были использованы для оценки вероятности развития конкретных ответов на воздействие факторов производственной среды и трудового процесса:

$$\Delta P^i = f^i(X_j) \quad (1)$$

где ΔP^i — значение вероятности i -го ответа, формируемой воздействием j -го фактора, за временной интервал, определенный в соответствии с целями исследования;

$f^i(X_j)$ — значение функции, характеризующей зависимость между величиной экспозиции j -го вещества и вероятностью i -го ответа.

Параметры парных математических моделей, построенных для различных уровней экспозиции, были использованы для моделей эволюции риска. Значения коэффициентов эволюционных моделей учитывают степень функциональных нарушений, возникающих со стороны систем и органов-мишеней, и тяжесть вероятностных исходов заболеваний. Таким образом, эволюционная модель учитывает накопление функциональных изменений, происходящих в организме за счет внешних причин.

Эволюционные уравнения представляют собой рекуррентные соотношения, которые позволяют организовать итерационную расчетную процедуру с определенным шагом. Система данных уравнений позволяет учесть накопление рисков в отношении систем и органов-мишеней:

$$R_{t+1}^i = R_t^i + (\alpha_i R_t^i + \sum_j \Delta R_t^j) C \quad (2)$$

где R_{t+1}^i — значение вероятности i -го ответа, формируемой воздействием j -го фактора, за временной интервал, определенный в соответствии с целями исследования;

R_t^i — значение вероятности i -го ответа, формируемой воздействием j -го фактора, за временной интервал, определенный в соответствии с целями исследования;

α_i — поправочный коэффициент, учитывающий эволюцию риска за счет естественных причин;

C — эмпирический временной коэффициент.

Результаты и обсуждение. Достоверно установлено наличие связи между воздействием общей вибрации и развитием у работников, выполняющих подземные горные работы, дорсопатий шейного отдела позвоночника (RR = 1,8, 95,0 % CI = 1,1–3,2, средняя степень

¹ Р 2.2.2006–05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» (утв. руководителем Роспотребнадзора Г.Г.Онищенко 29 июля 2005 г.). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 254 с.

² Р 2.2.1766–03 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки» (утв. руководителем Роспотребнадзора Г.Г.Онищенко 24 июня 2003 г.). М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 24 с.

риска // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 1. С. 33–36. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-33-36.

References

1. Ibraev SA, Zharylkassyn ZZ, Otarov EZ, *et al.* Modern aspects of occupational risk among persons of mental labor (the literature review). *Mezhdunarodnyi Zhurnal Prikladnykh i Fundamental'nykh Issledovaniy*. 2017; (3-1):62-65. (In Russian).
2. Shlyapnikov DM, Shur PZ, Ryazanova EA, *et al.* Combined action of the production factors and lifestyle factors on development of some occupation caused diseases at workers of mechanical engineering. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiiskoi Akademii Nauk*. 2013; 15(3-6):2021-2023. (In Russian).
3. Shlyapnikov DM, Vlasova EM, Shur PZ, *et al.* Assessment the occupational risk of health violations at employees of oil production enterprises. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiiskoi Akademii Nauk*. 2012; 14(5(3)):684-687. (In Russian).
4. Berkheeva ZM, Giniyatova AM. Long-term dynamics and structure of occupational diseases in Republic of Tatarstan. *Vestnik Sovremennoi Klinicheskoi Meditsiny*. 2015; 8(1):10-17. (In Russian).
5. Afanasova OE, Poteriaeva EL, Vereshchagina GN. Influence of work conditions on the development of arterial hypertension in workers under conditions of high occupational risk. *Medicina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2010; (8):19-22. (In Russian).
6. Bakirov AB, Mingazova SR, Karimova LK, *et al.* Risk of dust bronchopulmonary pathology development in workers employed in various economic branches under impacts exerted by occupational risk factors: clinical and hygienic aspects. *Health Risk Analysis*. 2017; (3):83-91. (In Russian).
7. Osipov SA, Malysheva IYu, Berkheeva ZM, *et al.* Working conditions and occupational morbidity in agricultural workers of the Republic of Tatarstan. *Vestnik Sovremennoi Klinicheskoi Meditsiny*. 2016; 9(5):29-34. (In Russian).
8. Shayakhmetov SF, Lisetskaya LG, Merinov AV. Evaluation of toxic dust factor in aluminium production (analytic review). *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2015; (4):30-35. (In Russian).
9. Chebotarev AG. Mine personnel work environment and occupational morbidity forecasting. *Gornaya Promyshlennost'*. 2016; (3(127)):54-57. (In Russian).
10. Sun K, Azman AS, Camargo HE, *et al.* Risk assessment of recordable occupational hearing loss in the mining industry. *Int J Audiol*. 2019; 58(11):761-768.
11. Noble TL, Parbhakar-Fox A, Berry RF, *et al.* Mineral dust emissions at metalliferous mine sites. In: Lottermoser B, editor. *Environmental indicators in metal mining*. Cham, Switzerland: Springer Int Publ.; 2017. P. 281–306.
12. Bakirov AB. Regularities of occupational risk formation in the process of oil extraction and refining. *Acta Biomedica Scientifica*. 2005; (2(40)):20-24. (In Russian).
13. Radtke C, Autenrieth DA, Lipsey T, *et al.* Noise characterization of oil and gas operations. *J Occup Environ Hyg*. 2017; 14(8):659-667.
14. Hanifi SM, Laal F, Panjali Z, *et al.* Health risk assessment of exposure to harmful chemical agents in a refinery. *Arch Occup Health*. 2019; 3(1):299-306.
15. Heibati B, Pollitt KJG, Charati JY, *et al.* Biomonitoring-based exposure assessment of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene among workers at petroleum distribution facilities. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2018; 149:19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.070>
16. Shlyapnikov DM, Shur PZ, Alekseev VB, *et al.* Methodological approaches to the integrated evaluation of the exposure and length of service in the occupational risk assessment. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(1):33-36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-33-36>

Контактная информация:

Фокин Владимир Андреевич – научный сотрудник отдела анализа риска здоровью ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора
e-mail: fokin@fcrisk.ru

Corresponding author:

Vladimir A. Fokin, Researcher, Department of Health Risk Analysis, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies of Rospotrebnadzor
e-mail: fokin@fcrisk.ru

Статья получена: 21.02.2020
Принята в печать: 06.07.2020

