

УДК 614.76

**ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ  
НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА****Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Андришин И.Б., Иванова С.В.,  
Сковронская С.А., Мацюк А.В.***ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками  
здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва,  
e-mail: professor121@rambler.ru*

Состояние окружающей среды в городах с населением более 0,5 млн жителей часто характеризуется как неблагоприятное. В структуре приоритетных факторов риска для здоровья населения крупных городов ведущее место принадлежит загрязнению атмосферного воздуха. Вторым по значимости фактором риска является неудовлетворительное качество воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Цель исследования – выявление и оценка факторов риска среды обитания, приоритетных для здоровья населения, проживающего на территории административных районов г. Красноярск. Состояние атмосферного воздуха, воды и почвы в Красноярске изучали по данным государственных докладов, аналитических обзоров 2013–2017 гг., официальных данных о содержании загрязняющих веществ в пробах атмосферного воздуха и воды в 2017–2018 гг. Оценка рисков для здоровья населения проводилась в соответствии с Руководством Р 2.1.10.1920-04. Установлено, что основной вклад в развитие неканцерогенных эффектов в Красноярске вносит загрязнение атмосферного воздуха, за исключением Центрального района, где преобладает влияние химических веществ, поступающих в организм с питьевой водой. Наименьшее влияние на состояние здоровья населения г. Красноярск и отдельных районов оказывает загрязнение почвы. Канцерогенный риск при ингаляционном поступлении химических веществ с атмосферным воздухом соответствует предельно допустимому риску, а при поступлении пероральным путем с питьевой водой на порядок превышает допустимый уровень, рекомендуемый ВОЗ. Наиболее высокий вклад в суммарный канцерогенный риск при воздействии химических веществ, содержащихся в питьевой воде, поступающих в организм пероральным путем, вносит бенз(а)пирен, на 2-м и 3-м местах находятся мышьяк и хром. Основным источником загрязнения атмосферного воздуха бенз(а)пиреном является Красноярский алюминиевый завод (РУСАЛ) – объем выбросов около 99%, 2-е и 3-е места занимают соответственно бытовые печи, ТЭЦ и автотранспорт (менее 0,3%).

**Ключевые слова:** окружающая среда, химические вещества, риск, городское население**ASSESSMENT OF HEALTH HAZARDS POSED BY CHEMICALS  
IN A LARGE INDUSTRIAL CITY****Meshkov N.A., Valtseva E.A., Andryushin I.B., Ivanova S.V.,  
Skovronskaya S.A., Matsyuk A.V.***Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, e-mail: professor121@rambler.ru*

The environmental situation in cities with population exceeding 0.5 million is often characterized as unfavorable. Air pollution is the highest health risk factor in large cities. The second most important risk factor is bad quality of tap water. The aim of this research is to identify and evaluate environmental risk factors that are of high priority for public health in different districts of Krasnoyarsk. The research studied air, water and soil quality by analyzing government reports, analytical papers covering the period between 2013 and 2017, and official data on pollutant content in air and water samples taken in 2017-2018. Health risks were evaluated according to R 2.1.10.1920-04 health risk assessment guidelines. The study showed that air pollution is the main contributor to non-carcinogenic effects in Krasnoyarsk, except for the Central District, where chemicals in drinking water have the highest impact on health. The least significant impact in Krasnoyarsk and certain districts comes from soil pollution. The cancer risk associated with inhaled chemicals nears the maximum permissible levels, while the one associated with ingested drinking water is much higher than the maximum permissible levels recommended by WHO. Benzo[a]pyrene makes the biggest contribution to the cumulative cancer risk from chemicals in ingested drinking water; the second and third highest risk chemicals are arsenic and chrome. The major source of benzo[a]pyrene air pollution is RUSAL's Krasnoyarsk Aluminum Smelter (contributing approximately 99%); household stoves, CHP plants and motor transport rank second and third, respectively (less than 0.3%).

**Keywords:** environment, chemicals, risk, city population

Состояние окружающей среды в городах с населением более 0,5 млн жителей часто характеризуется как неблагоприятное [1], что обусловлено сосредоточением на территории современного города крупных промышленных предприятий, объектов тепло- и электроэнергетики и автотранспорта. В структуре приоритетных факторов риска среды обитания для здоровья населения

крупных городов ведущее место принадлежит загрязнению атмосферного воздуха вредными химическими веществами [2]. Вторым по значимости фактором риска среды обитания является неудовлетворительное качество воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения [3].

Воздействие химического загрязнения атмосферного воздуха и питьевой воды на

здоровье населения чревато ростом заболеваемости. В Красноярском крае 2006–2010 гг. наблюдался рост заболеваемости населения злокачественными новообразованиями, болезнями нервной системы, крови и кроветворных органов, системы кровообращения и органов дыхания. Заболевания, обусловленные воздействием факторов окружающей среды, чаще регистрируются среди населения промышленно развитых городов Красноярского края, в частности в г. Красноярске, где регистрируются высокие концентрации бенз(а)пирена в воздухе, основным источником которого является Красноярский алюминиевый завод (РУСАЛ КрАЗ) – предприятие по производству алюминия [4].

Анализ литературных источников показал, что наибольшую опасность для здоровья населения г. Красноярска представляет загрязнение атмосферного воздуха, вклад от воздействия которого в суммарный канцерогенный риск при многосредовом воздействии достигает 99,5%, что в 1,5 раза превосходит вклад от загрязнения питьевой воды. Вклад загрязнения почвы в суммарный канцерогенный риск при многосредовом воздействии пренебрежимо мал.

Цель исследования: выявление и оценка факторов риска среды обитания, приоритетных для здоровья населения, проживающего на территории административных районов г. Красноярска.

### Материалы и методы исследования

Изучали состояние атмосферного воздуха, питьевой воды, почвы в г. Красноярске и риски воздействия химического загрязнения на здоровье населения города. Состояние атмосферного воздуха, воды и почвы в г. Красноярске и административных районах города изучали по данным, представленным в государственных докладах о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2013–2017 гг., аналитических обзорах о состоянии загрязнения атмосферного воздуха за 2017–2018 гг., поверхностных вод суши по результатам наблюдений за 2017 г., а также по данным стационарных постов (ПНЗ) государственной наблюдательной сети за состоянием окружающей среды, результатов исследования проб питьевой воды перед поступлением ее в распределительную сеть г. Красноярска, отобранных Центром контроля качества воды (ООО «КрасКом») в 2017 г. Оценка рисков для здоровья населения г. Красноярска при воздействии химических веществ, содержащихся в объектах окружающей среды, проводилась в соответствии с Руководством Р 2.1.10.1920-04 [5]. Для сравнительного анализа загрязнения административных районов г. Красноярска рассчитывали среднегодовые концентрации загрязняющих веществ, регистрируемых на ПНЗ, а для оценки риска согласно руководству [5] – медианы концентраций. Обработка данных проводилась с помощью ППП Statistica 10.0: Описательная и Непараметрическая статистика (тест Манна – Уитни U) в 2014–2016 гг.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для выявления вклада промышленных и других объектов в загрязнение окружающей среды в районах г. Красноярска выполнена сравнительная оценка структуры валовых выбросов основных загрязнителей окружающей среды. Наиболее высокий вклад в загрязнение окружающей среды вносит автотранспорт, доля которого выросла в 2016 г. в сравнении с 2012 г. на 4,3%. Доли АО «РУСАЛ Красноярского алюминиевого завода» (РУСАЛ КрАЗ), ТЭЦ и котельных занимают соответственно 2-е, 3-е и 4-е места. Объем выбросов РУСАЛ КрАЗ и ТЭЦ снизился в 2016 г. на 2,1%, а котельных всего лишь на 0,5%. Следует отметить, что объем выбросов РУСАЛ КрАЗ значительно превосходит выбросы от всех ТЭЦ города вместе взятых [6].

Распределение промышленных предприятий, ТЭЦ и других объектов по объему предельно допустимых выбросов наиболее приоритетных загрязняющих веществ в 2017 г. представлено на рис. 1 [7]. РУСАЛ КрАЗ является основным источником загрязнения атмосферного воздуха бенз(а)пиреном, 2-е и 3-е места занимают соответственно бытовые печи, ТЭЦ и автотранспорт [8]. Объем выбросов бенз(а)пирена РУСАЛом достигает 98,6%, что несопоставимо больше долей выбросов этого загрязнителя ТЭЦ и автотранспортом, составляющих всего лишь 0,28 и 0,26% [9, 10]. Лидирующие позиции по атмосферному загрязнению долгие годы занимают ФГУП «Красмашзавод» и ООО «Цемент» [11].

Формальдегид присутствует в выбросах деревообрабатывающего предприятия КрасДОК и Красноярского завода минераловатных изделий (КЗМИ «Минвата»), а также в отработавших газах автотранспорта при неполном сгорании топлива [10].

Взвешенные вещества поступают в атмосферный воздух при сжигании топлива на объектах тепло- и электроэнергетики (ТЭЦ 1–3, Коммунальные котельные), с выбросами металлургических производств (КрАЗ) и цементного завода (ООО «Цемент»).

Основными источниками поступления диоксида азота в воздушную среду являются топливно-энергетические предприятия, котельные, КрасЦемент и автотранспорт.

Вклады источников загрязнения различаются в зависимости от района города. Так, на территории Центрального района основным источником бенз(а)пирена является автотранспорт, что обусловлено наличием автомагистралей с интенсивным движением. В Ленинском районе (ул. 26 Ба-

кинских комиссаров) источники формальдегида – КрАЗ, ОАО «КрасМаш» и автотранспорт, диоксид азота и взвешенных веществ – ТЭЦ-1; в Советском районе источники формальдегида – КЗМИ «Минвата» и автотранспорт, диоксид азота и взвешенных веществ – ТЭЦ-3; в Свердловском районе источники формальдегида – Красноярский ДОК, а диоксид азота и взвешенных веществ – ООО «Цемент» и ТЭЦ-2 [11].

Распределение химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух в районах и в целом на территории Красноярска, по коэффициентам опасности представлено на рис. 2. Ранжирование коэффициентов опасности химических веществ по их приоритетности в районах и на всей территории Красноярска показало, что основными загрязнителями атмосферного воздуха, занимающими первые три места, являются бенз(а)пирен, формальдегид и взвешенные вещества.

Важно отметить, что выбросы из труб ТЭЦ высотой более 100 м, в отличие от выбросов автотранспорта, коммунальных котельных и печных труб частного сектора, проходят очистку и переносятся за пределы селитебной территории, вследствие чего негативный эффект для здоровья населения от выбросов отработавших газов автомобиль-

ных двигателей и бытовых печей значительно выше, чем от выбросов ТЭЦ.

Согласно классификации уровней риска коэффициенты опасности развития неканцерогенных эффектов (НҚ) бенз(а)пирена в Центральном, Кировском и Ленинском (ул. Чайковского) районах, формальдегида и взвешенных веществ – соответственно на ул. Чайковского и ул. 26 Бакинских комиссаров Ленинского района соответствуют среднему уровню, а остальных веществ, приведенных на рисунке, – низкому.

Результаты оценки индексов опасности (НІ) влияния химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, при ингаляционном воздействии на отдельные органы и системы организма жителей в г. Красноярска и отдельных районов показали, что 1-е место по общему индексу опасности (НІ) занимает Центральный район, 2-е место – Ленинский район (ул. 26 Бакинских комиссаров, 26) и 3-е место – соответственно Кировский и Ленинский (ул. Чайковского, 7 д) районы. При сравнении с литературными данными установлено, что величины индексов опасности (НІ) для населения г. Красноярска сопоставимы с данными В.М. Хилько (2011) [12], О.В. Тасейко с соавт. (2013) [13], Д.В. Горяева с соавт. (2016) [14] и О.В. Тасейко (2017) [15].

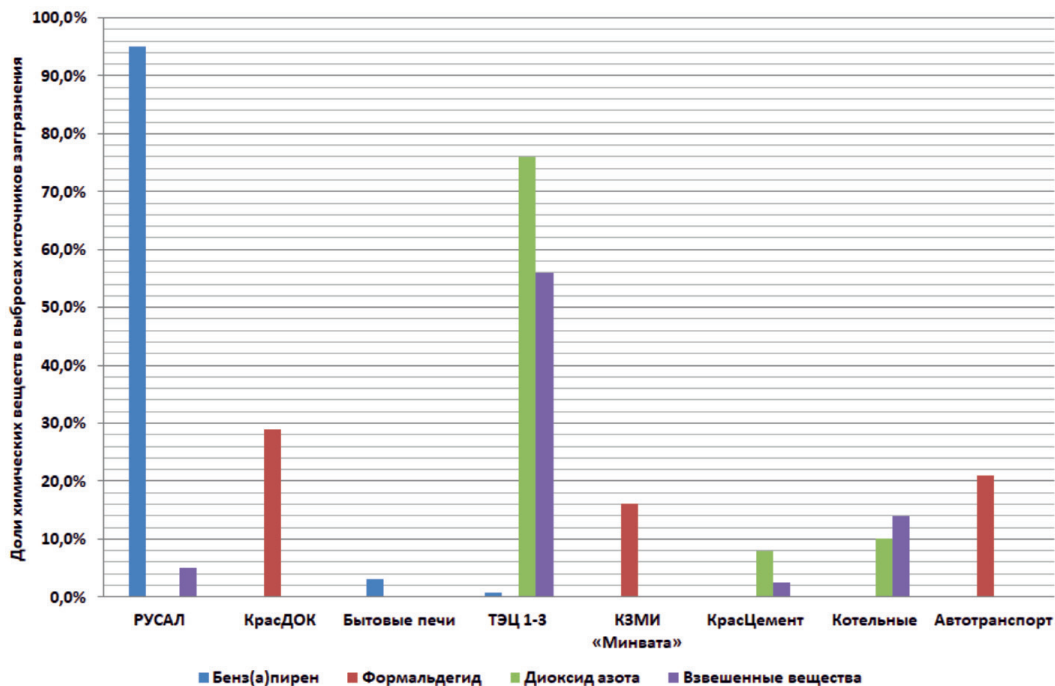


Рис. 1. Распределение промышленных предприятий, ТЭЦ и других объектов г. Красноярска по объему предельно допустимых выбросов приоритетных загрязняющих веществ

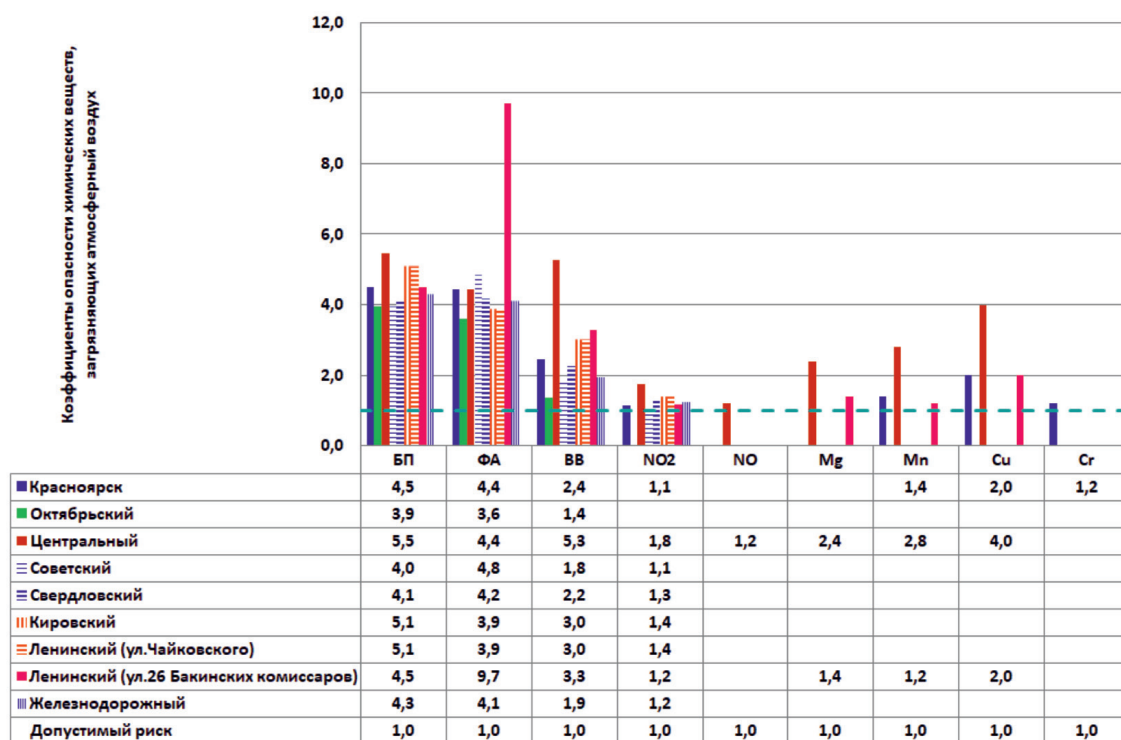


Рис. 2. Коэффициенты опасности химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух в районах и на всей территории Красноярска, выше допустимого риска

При анализе структуры индексов опасности (ИП) установлено, что в большинстве районов (Центральный, Свердловский, Кировский и Ленинский) и в целом по городу 1-е место занимает вероятность развития вредных эффектов со стороны органов дыхания, а в Советском, Октябрьском и Железнодорожном районах – со стороны иммунной системы. На 3-м месте в большинстве районов, за исключением Центрального района и г. Красноярска в целом, в которых это место занимает ИП влияния на кровь, находится вероятность негативного воздействия на процессы развития.

Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск (СР) здоровью населения г. Красноярска рассчитывали по содержанию в атмосферном воздухе бенз(а)пирена, бензола, формальдегида и этилбензола, а также металлов: свинца, хрома и никеля. Согласно классификации риска уровень индивидуального пожизненного канцерогенного риска здоровью населения г. Красноярска при воздействии бенз(а)пирена, бензола, формальдегида и этилбензола соответствует предельно допустимому, а свинца, хрома и никеля – минимальному (*de minimis*). Сравнение канцерогенного риска здоровью населения г. Красноярска

с литературными источниками показало, что по данным В.М. Хилько [12] СР при воздействии бенз(а)пирена меньше в 38,9 раз, а при воздействии этилбензола и хрома больше – соответственно в 18,3 и 20,9 раза, а бензола, формальдегида и свинца – в 2,9; 1,4 и 2,4 раза. По данным О.В. Тасейко с соавт. [13] превышение СР составляет от 2,6 раза (бенз(а)пирен) до 4,7 раза (никель).

Суммарный канцерогенный риск при воздействии вышеперечисленных химических веществ составляет  $1,1 \times 10^{-4}$  и соответствует предельно допустимому уровню [5]. Величина суммарного канцерогенного риска здоровью населения г. Красноярска в 2,9 раза меньше величины, рассчитанной В.М. Хилько ( $3,25 \times 10^{-4}$ ) [12], в 3 раза – О.В. Тасейко с соавт. ( $3,4 \times 10^{-4}$ ) [13], в 3,4 раза – Д.В. Горяева и И.В. Тихоновой ( $3,87 \times 10^{-4}$ ) [14] и в 4,2 раза – О.В. Тасейко ( $4,8 \times 10^{-4}$ ) [15].

Почва, являясь природной средой, находится в тесном взаимодействии с атмосферным воздухом, поверхностными и подземными водами. Загрязнение почвы формируется за счет выпадения (седиментации) из атмосферы взвешенных веществ и вымывания осадками (дождь,

снег). Эколого-гигиеническая оценка загрязнения почвы в зоне влияния промышленных предприятий и в селитебных зонах отдельных районов г. Красноярска, а также оценка риска неканцерогенных и канцерогенных эффектов химических элементов (металлов), содержащихся в почве районов г. Красноярска, проводились по данным, приведенным в Государственных докладах «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае».

Коэффициенты опасности (HQ) металлов при пероральном пути воздействия (рис. 3) на несколько порядков меньше допустимого уровня, то есть уровень риска развития неканцерогенных эффектов является минимальным (*de minimis*).

При ранжировании по величине HQ установлено, что свинец занимает 1-е место в селитебной зоне Центрального района с интенсивной транспортной нагрузкой и 2-е – в селитебной зоне этого района на удалении от автомагистралей, а также вблизи ТЭЦ-2 в Свердловском районе. На 1-м месте свинец находится также в Железнодорожном, Октябрьском, Кировском, Ленинском районах и вблизи Цементного завода в Свердловском районе. Медь занимает 1-е место в жилой зоне Центрального района, удаленной от автомагистралей, хром – в Свердловском районе вблизи ТЭЦ-2 и на удалении от промышленных объектов. Кадмий занимает 2-е место в Железнодорожном и Октябрьском районах, хром – в Кировском и вблизи цементного завода в Свердловском районе, медь – в селитебной зоне Центрального района вблизи магистралей с интенсивным движением, марганец – в Кировском, Ленинском и Свердловском районах.

Результаты оценки показали, что индексы опасности (HI) влияния химических веществ на отдельные органы и системы организма жителей г. Красноярска и отдельных районов при пероральном пути поступления с почвой пренебрежимо малы. Уровень индивидуального пожизненного канцерогенного риска для здоровья населения при пероральном поступлении в организм металлов, содержащихся в почве на территории районов г. Красноярска, пренебрежимо мал (*de minimis*), за исключением CR при воздействии хрома на территории Свердловского района вблизи Красноярского цементного завода, который соответствует предельно допустимому уровню [5].

Сравнительный анализ величин индивидуального пожизненного канцерогенного риска показал, что на правом берегу Енисея наиболее высокие риски выявлены в зоне

влияния предприятия «КрасЦемент», расположенного в Свердловском районе. Установлено, что опасность развития канцерогенных эффектов при воздействии свинца, кадмия и хрома, выбрасываемых этим предприятием соответственно в 1,7; 1,5 и 7,1 раза выше, чем от ТЭЦ-2. Канцерогенные риски в Свердловском районе при воздействии свинца, выбрасываемого цементным заводом, от 2,5 до 8 раз выше рисков в Кировском районе и от 8 до 12 раз – в Ленинском, риски при воздействии кадмия – соответственно от 3 до 14,5 раза и от 13 до 19,3 раза, а хрома – от 6,6 до 27,6 раза и от 27,7 до 31,2 раза.

При сопоставлении рисков свинца и кадмия в зоне влияния КрасЦемент с рисками в районах левобережья установлено, что они повышены только по сравнению с селитебной зоной Центрального района, а кадмия – также и с селитебной зоной с интенсивным движением автотранспорта. Риски свинца и кадмия в Железнодорожном и Октябрьском районах значительно выше рисков в зоне влияния КрасЦемент. Канцерогенные риски в Свердловском районе при воздействии свинца и кадмия, выбрасываемых ТЭЦ-2, соответственно в 4,2 и 2,5 раза выше рисков в селитебной зоне Центрального района, но ниже, чем в Железнодорожном и Октябрьском районах.

Основными источниками водоснабжения населения г. Красноярска являются подземные воды. На их качество влияют различные факторы, в том числе характер и степень антропогенной нагрузки. Условия формирования тесно связаны с поверхностными водами и в значительной мере определяются различными видами антропогенного воздействия.

Водоснабжение районов г. Красноярска осуществляется из одного поверхностного водозабора «Гремячий Лог» и шести подземных, расположенных на островах Нижний-Атамановский, Отдыха, Верхний-Атамановский, Казачий, Посадный и Татышев. Гигиеническая оценка содержания химических элементов в воде в местах водозабора в районах г. Красноярска выполнена путем сравнения с нормативными величинами. Установлено, что концентрация химических элементов в воде в местах водозабора в районах г. Красноярска значительно меньше гигиенических нормативов. Вместе с тем обращает на себя внимание относительно высокая, близкая к предельно допустимой (0,940 ПДК), концентрация марганца в воде водозабора о. Верхне-Атамановский, поступающая жителям Ленинского и Кировского районов.

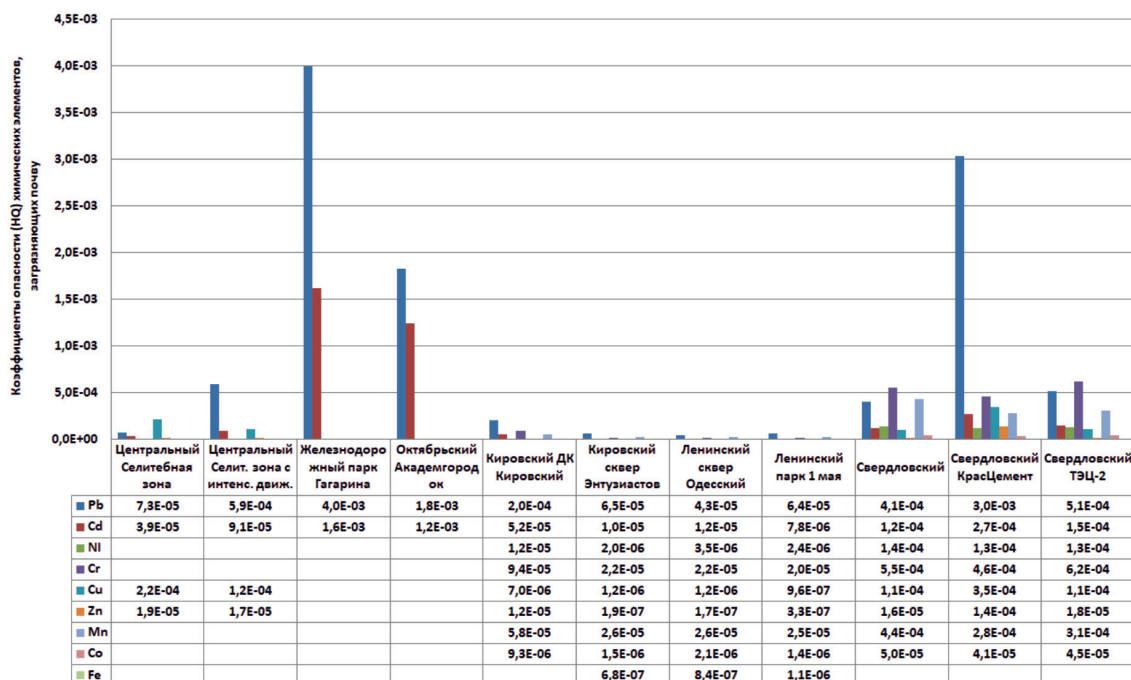


Рис. 3. Коэффициенты опасности химических элементов (металлов), содержащихся в почве отдельных районов при пероральном пути воздействия

Оценка рисков неканцерогенных и канцерогенных эффектов при пероральном пути воздействия химических веществ, содержащихся в питьевой воде на водозаборах перед ее поступлением в распределительную сеть в районах г. Красноярска, проводилась по данным результатов исследования проб питьевой воды перед поступлением ее в распределительную сеть г. Красноярска (насосная станция второго подъема), отобранных в 2017 г. Центром контроля качества воды ООО «КрасКом». Коэффициенты опасности (HQ) химических веществ, содержащихся в питьевой воде перед ее поступлением в распределительную сеть, при пероральном пути воздействия, соответствуют минимальному уровню (*de minimis*) риска, что сопоставимо с результатами исследований Д.В. Горяева с соавт., по мнению которых, «Питьевые воды <...> не формируют недопустимых рисков здоровью».

В результате ранжирования установлено, что среди химических веществ, содержащихся в воде, 1-е, 2-е и 3-е места по величине HQ на всех водозаборах, кроме водозабора «Гремячий Лог», занимают мышьяк, остаточный хлор и бенз(а)пирен, а в воде водозабора «Гремячий Лог» – хлороформ.

При ранжировании индексов опасности (HI) влияния на отдельные органы и системы организма жителей отдельных районов

г. Красноярска при пероральном поступлении содержащихся в воде химических веществ установлено, что по величине общего индекса опасности на 1-м месте находится Ленинский район, на 2-м – Октябрьский и Железнодорожный и 3-м месте – Советский район.

HI влияния химических веществ на иммунную и гормональную системы занимают во всех районах соответственно 1-е и 2-е места, а HI влияния на центральную нервную систему – 3-е место, за исключением Кировского и Свердловского, в которых на 3-м месте находится HI влияния на сердечно-сосудистую систему.

Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск (CR) здоровью населения г. Красноярска и отдельных районов при пероральном воздействии химических веществ, содержащихся в питьевой воде на водозаборах в отдельных районах г. Красноярска, при воздействии мышьяка, бензола и бенз(а)пирена, поступающих в организм с питьевой водой, приемлем для профессионалов и неприемлем для населения в целом [5].

Выполнена оценка вклада неканцерогенных рисков воздействия химических веществ при одновременном ингаляционном поступлении химических веществ с вдыхаемым воздухом и пероральном поступле-

нии – с питьевой водой и почвой в организм жителей отдельных районов Красноярска и города в целом. Результаты оценки показали, что во всех районах и в г. Красноярске доля неканцерогенного риска при поступлении *бенз(а)тирена* пероральным путем с питьевой водой в 1,7–2,6 раза больше, чем ингаляционным путем с вдыхаемым воздухом. Доля неканцерогенного риска при поступлении ингаляционным путем *бензола* в г. Красноярске и районах, за исключением Советского и Октябрьского района, где он не определялся, в 7,3–11,3 раза превосходит риск при пероральном поступлении этого вещества.

В Центральном районе доли HQ меди, марганца и цинка при поступлении ингаляционным путем выше, чем с питьевой водой, соответственно в 7,0; 34,4 и 3,1 раза, а железа – выше при поступлении с водой в 63,1 раза.

В г. Красноярске и Ленинском районе доли HQ свинца, хрома, никеля, марганца и железа при их поступлении с водой значительной выше, чем при ингаляционном поступлении, при котором выше доли HQ меди.

Оценивалось распределение долей индексов опасности (HI) влияния химических веществ на отдельные органы и системы организма жителей г. Красноярска и отдельных районов при ингаляционном и пероральном путях поступления. По результатам оценки основной вклад в развитие неканцерогенных эффектов вносит загрязнение атмосферного воздуха, за исключением Центрального района, где преобладает влияние химических веществ, поступающих в организм с питьевой водой. Наименьшее влияние на состояние здоровья населения г. Красноярска и отдельных районов оказывает загрязненность почвы.

Результаты расчёта суммарных канцерогенных рисков ( $\Sigma CR$ ) здоровью населения

районов г. Красноярска и в городе в целом при комбинированном воздействии химических веществ, содержащихся в объектах окружающей среды (атмосферный воздух, питьевая вода и почва), поступающих в организм ингаляционным и пероральным путями, представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что канцерогенный риск при воздействии химических веществ, поступающих в организм ингаляционным путем с атмосферным воздухом, соответствует предельно допустимому риску, а при поступлении пероральным путем с питьевой водой, на порядок превышает допустимый уровень, рекомендуемый ВОЗ [5]. Канцерогенный риск при пероральном поступлении химических веществ и  $\Sigma CR$  выше допустимого уровня, составляющего  $1,0 \times 10^{-4}$ , является приемлемым только для профессиональных групп и неприемлемым для населения.

Анализ структуры суммарного канцерогенного риска здоровью населения отдельных районов и по городу в целом в зависимости от пути поступления химических веществ в организм (рис. 4) показал, что 1-е место по вкладу CR при ингаляционном воздействии занимает Ленинский район, 2-е и 3-е – соответственно Центральный и Кировский районы. По вкладу CR при пероральном поступлении на 1-м месте находится Октябрьский район, на 2-м и 3-м – Советский и Свердловский районы.

По вкладу в суммарный канцерогенный риск при пероральном поступлении химических веществ с *питьевой водой* 1-е место занимает Октябрьский район, 2-е – Советский, 3-е – Свердловский районы, а с *почвой* – Свердловский район находится на 1-м месте, Железнодорожный и Октябрьский районы – на 2-м и 3-м местах соответственно.

**Таблица 1**

Суммарные канцерогенные риски при одновременном поступлении разными путями нескольких химических веществ

Районы	Ингаляционно	Перорально		Сумма
	с атмосферным воздухом	с питьевой водой	с почвой	
Октябрьский	$1,83 \times 10^{-5}$	$3,24 \times 10^{-4}$	$5,37 \times 10^{-7}$	$3,43 \times 10^{-4}$
Центральный	$5,17 \times 10^{-5}$	$3,24 \times 10^{-4}$	$1,94 \times 10^{-8}$	$3,76 \times 10^{-4}$
Советский	$2,44 \times 10^{-5}$	$3,24 \times 10^{-4}$	$1,15 \times 10^{-7}$	$3,49 \times 10^{-4}$
Свердловский	$4,20 \times 10^{-5}$	$3,26 \times 10^{-4}$	$1,41 \times 10^{-6}$	$3,69 \times 10^{-4}$
Кировский	$4,63 \times 10^{-5}$	$3,25 \times 10^{-4}$	$2,40 \times 10^{-7}$	$3,71 \times 10^{-4}$
Ленинский	$9,09 \times 10^{-5}$	$3,25 \times 10^{-4}$	$5,62 \times 10^{-8}$	$4,16 \times 10^{-4}$
Железнодорожный	$4,48 \times 10^{-5}$	$3,25 \times 10^{-4}$	$9,64 \times 10^{-7}$	$3,71 \times 10^{-4}$
Красноярск	$4,86 \times 10^{-5}$	$3,25 \times 10^{-4}$	$4,92 \times 10^{-7}$	$3,74 \times 10^{-4}$

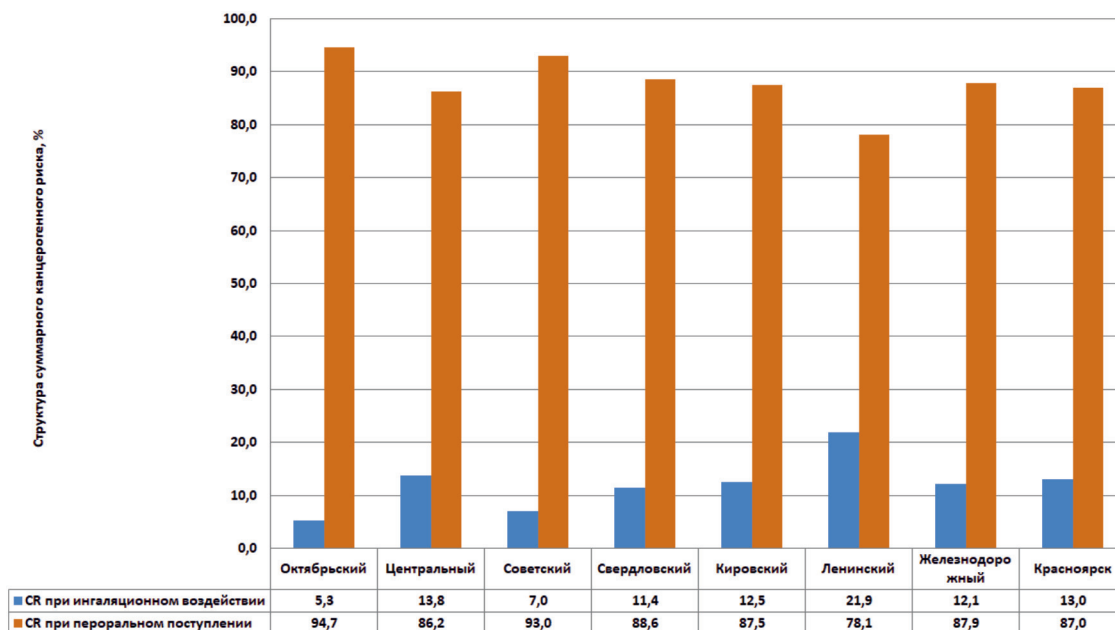


Рис. 4. Структура суммарного канцерогенного риска здоровью населения отдельных районов г. Красноярска и в целом по городу в зависимости от пути поступления химических веществ в организм, %

Таблица 2

Популяционный канцерогенный риск (PCR) и популяционный годовой канцерогенный риск (PCRa) в отдельных районах и в г. Красноярске

Административные районы	PCR, ( $P_{25}$ – $P_{75}$ )	PCRa, ( $P_{25}$ – $P_{75}$ )
Центральный	4,13 (4,05–4,51)	13,15 (12,88–14,36)
Советский	5,11 (5,00–5,25)	12,34 (12,08–12,68)
Свердловский	4,65 (4,69–5,24)	21,52 (21,35–24,06)
Кировский	3,83 (3,66–3,89)	18,33 (17,50–18,62)
Ленинский	10,43 (10,07–10,86)	23,56 (22,75–24,55)
Октябрьский	2,50 (2,47–2,56)	11,91 (11,75–12,18)
Железнодорожный	3,43 (3,15–3,48)	16,11 (14,78–16,31)
г. Красноярск	40,6 (38,7–42,0)	177,7 (169,8–183,8)

По результатам оценки индивидуальных пожизненных рисков при ингаляционном воздействии химических веществ рассчитаны популяционный канцерогенный (PCR) и популяционный годовой канцерогенный риски (PCRa) [5] (табл. 2). Как видно из табл. 2, 1-е, 2-е и 3-е места по числу случаев злокачественных новообразований, которые могут возникнуть на протяжении жизни дополнительно к фоновому уровню (PCR), занимают соответственно Ленинский, Советский и Свердловский районы, а по дополнительным случаям этой патологии в течение года (PCRa) – Ленинский, Свердловский и Кировский районы.

При ранжировании районов по величине PCRa, рассчитанных для каждого хими-

ческого вещества, установлено, что при воздействии *бенз(а)пирена* 1-е, 2-е и 3-е места занимают Советский, Октябрьский и Ленинский районы, при воздействии *бензола* – Центральный, Ленинский и Советский районы, при воздействии *формальдегида* – Ленинский, Советский и Октябрьский районы, а *этилбензола* – Ленинский, Свердловский и Кировский районы.

#### Выводы

1. Анализ суммарных канцерогенных рисков здоровью населения районов г. Красноярска и в городе в целом при комбинированном воздействии химических веществ, содержащихся в объектах окружающей среды (атмосферный воздух, питьевая вода



и почва), поступающих в организм ингаляционным и пероральным путями, показал, что канцерогенный риск при ингаляционном поступлении с атмосферным воздухом соответствует предельно допустимому риску, а при поступлении пероральным путем с питьевой водой, на порядок превышает допустимый уровень, рекомендуемый ВОЗ [5]. Канцерогенный риск при пероральном поступлении химических веществ и суммарные риски выше допустимого уровня, составляющего  $1,0 \times 10^{-4}$ , являются приемлемыми только для профессиональных групп и неприемлемы для населения г. Красноярска.

2. В структуре суммарного канцерогенного риска (CR) здоровью Ленинский район занимает 1-е место по вкладу CR при ингаляционном воздействии, 2-е – Центральный район, 3-е – Кировский. По вкладу при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой 1-е место занимает Октябрьский район, 2-е – Советский, 3-е – Свердловский, а с почвой – на 1-м месте находится Свердловский район, Железнодорожный – на 2-м и Октябрьский – на 3-м месте.

3. В результате оценки популяционного канцерогенного риска (PCR) и популяционного годового канцерогенного риска (PCRa) установлено, что среди населения г. Красноярска может возникнуть дополнительно к фоновому уровню на протяжении жизни 40,6 (38,7–42,0) случаев злокачественных новообразований, а в течение года – 177,7 (169,8–183,8). По величине PCR доминируют Ленинский, затем – Советский и Свердловский районы, а по величине PCRa – Ленинский, Свердловский и Кировский районы. По величине PCRa при воздействии химических веществ: бенз(а)пирена первенствуют Советский, Октябрьский и Ленинский районы, бензола – Центральный, Ленинский и Советский районы, формальдегида – Ленинский, Советский и Октябрьский районы, а этилбензола – Ленинский, Свердловский и Кировский районы.

4. Сравнительная оценка вклада промышленных предприятий и других объектов в загрязнение окружающей среды в г. Красноярске выявила, что основным источником загрязнения атмосферного воздуха бенз(а)пиреном является Красноярский алюминиевый завод (РУСАЛ), 2-е и 3-е места занимают соответственно бытовые печи, ТЭЦ и автотранспорт. Объем выбросов бенз(а)пирена КрАЗом достигает 98,6%, что несопоставимо больше выбросов ТЭЦ и автотранспорта, составляющих всего лишь 0,28 и 0,26% [9, 10]. Лидирующие позиции по атмосферному загряз-

нению занимают ФГУП «Красмашзавод» и ООО «Цемент» [11].

*Исследование выполнено в рамках Государственного задания ФГБУ «ЦСП» Минздрава России на 2019–2021 гг.*

### Список литературы

1. Петров С.Б. Исследования по оценке риска здоровью населения при воздействии экологических факторов городской среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 8. С. 1930–1933.
2. Омарова М.Н., Оракбай Л.Ж., Черепанова Л.Ю., Глубоковских Л.К. Современные аспекты комплексной оценки медико-экологической ситуации в мегаполисе (аналитический обзор) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12–5. С. 830–837.
3. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Окружающая среда и здоровье: приоритеты профилактической медицины // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 5. С. 5–10.
4. Голиков Р.А., Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. № 5 С. 20–31.
5. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Руководство Р 2.1.10.1920-04. М., 2004. 143 с.
6. Хлебопрос Р.Г., Тасейко О.В., Иванова Ю.Д., Михайлюта С.В. Красноярск. Экологические очерки: монография. Красноярск: СФУ, 2012. 130 с.
7. Жирнова Д.Ф., Фомина Л.В. Основы экотоксикологии. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2011. 226 с.
8. Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Юдин С.М. Особенности эколого-гигиенической ситуации и состояния здоровья населения в крупных промышленных городах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 9. С. 50–57.
9. Михайлюта С., Кучеренко А., Леженин А. Проблемы оценки структуры выбросов в системе промышленные предприятия – автотранспорт // Экология и промышленность России. 2017. № 21 (4). С. 54–58.
10. Еремина В.А. Загрязнение воздуха в г. Красноярске // Наука и технологии в современном обществе. 2016. № 1 (3). С. 86–88.
11. Бельская Е.Н., Медведев А.В., Михов Е.Д., Тасейко О.В. Применение методов непараметрического моделирования в решении задач экологического мониторинга // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2016. Т. 17. № 1. С. 10–18.
12. Хилько В.М., Иванова О.В., Леонова Е.Н., Кузнецов Е.В. Оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха г. Красноярска в 2009 г. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2011. Т. 1. № 7. С. 251–252.
13. Тасейко О.В., Леонова Е.Н., Спицына Т.П. Оценка и анализ ингаляционного риска в регионе с неблагоприятной экологической обстановкой // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 4 (79). С. 73–79.
14. Горяев Д.В., Тихонова И.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха и риски для здоровья населения Красноярского края // Анализ риска здоровью. 2016. № 2. С. 76–83.
15. Тасейко О.В. Модели и методы оценки индивидуальных рисков // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2017): сборник трудов всероссийской конференции (Бердск, 29-31 августа 2017 г.). Новосибирск, 2017. С. 297–299.