

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Клейн С.В.^{1,2}, Зайцева Н.В.¹, Май И.В.^{1,3}, Балашов С.Ю.¹, Загороднов С.Ю.^{1,3}, Горяев Д.В.⁴, Тихонова И.В.⁴, Андришунас А.М.¹

Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух»

¹ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь;

²ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, Пермь;

³ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, Пермь;

⁴Управление Роспотребнадзора по Красноярскому краю, 660049, Красноярск

Введение. Обеспечение безопасности среды обитания является неперенным условием устойчивого развития человеческого общества, достижения целевых показателей федерального проекта «Чистый воздух». Улучшение качества атмосферного воздуха наиболее актуально для крупных промышленных городов, в том числе для г. Красноярск. Для оценки эффективности и результативности воздухоохраных мероприятий мониторинг качества атмосферного воздуха должен быть нацелен на пространственную характеристику уровней экспозиции и мониторинг наиболее «рисковых» для здоровья населения примесей.

Материал и методы. Для решения поставленных в исследовании задач использовали данные натурных исследований качества атмосферного воздуха за 2014–2018 гг., сводных расчётов рассеивания загрязняющих веществ, результаты их сопряжённого анализа, оценку параметров риска здоровью, кластерный анализ и геоинформационные системы, реализовывали алгоритм МР 2.1.6.0157-19.

Результаты. Реализация алгоритма позволила разделить пилотную территорию на 10 кластеров, схожих по системе параметров риска здоровью населения; выбрать точки оптимального расположения постов мониторинга с учётом критериев риска и плотности проживающего населения в каждом кластере. Для каждого поста сформирована программа наблюдения и определён перечень веществ, характеризующих данный кластер, подлежащих контролю: совокупно программа мониторинга включала 23 уникальных вещества по полной программе мониторинга и 13 веществ для рекогносцировочной оценки. В результате мониторинговыми исследованиями качества атмосферного воздуха, включающими приоритетные вещества, создающие неприемлемый уровень потенциального воздействия на здоровье, охвачено более 99% населения пилотной территории.

Выводы. Результаты исследования показали актуальность и своевременность межведомственных усилий в задачах управления качеством атмосферного воздуха на территориях. Общая сеть наблюдений Росгидромета, Роспотребнадзора и региональных сетей мониторинга качества атмосферного воздуха при максимальной экономии ресурсов и исключении дублирования исследований позволит осуществлять репрезентативный сбор данных и формировать информационный банк с целью принятия адекватных управленческих решений как в части воздухоохраных мероприятий, так и мероприятий гигиенического и медико-профилактического характера.

К л ю ч е в ы е с л о в а : чистый воздух; социально-гигиенический мониторинг; здоровье населения; среда обитания; экспозиция; риск здоровью; факторы риска; посты и программа наблюдения.

Для цитирования: Клейн С.В., Зайцева Н.В., Май И.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю., Горяев Д.В., Тихонова И.В., Андришунас А.М. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (11): 1196-1202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202>

Для корреспонденции: Клейн Светлана Владиславовна, доктор мед. наук, зав. отделом системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга, ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: kleyn@fcrisk.ru

Благодарность. Сопряжение расчётных и натурных данных в точках размещения постов мониторинга качества атмосферного воздуха с последующей линейной интерполяцией и экстраполяцией полученных коэффициентов соответствия выполнено в отделе математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (зав. – канд. тех. наук Д.А. Кирьянов).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки

Участие авторов: Клейн С.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Зайцева Н.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Май И.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Балашов С.Ю. – сбор и обработка материала, написание текста; Загороднов С.Ю., Горяев Д.В., Тихонова И.В., Андришунас А.М. – сбор и обработка материала. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 15.07.2020

Принята к печати 05.11.2020

Опубликована 22.12.2020

Svetlana V. Kleyn^{1,2}, Nina V. Zaitseva¹, Irina V. May^{1,3}, Stanislav Yu. Balashov¹, Sergey Yu. Zagorodnov^{1,3}, Dmitry V. Goryaev⁴, Irina V. Tichonova⁴, Alena M. Andrishunas¹

Working out ambient air quality measuring programs for socio-hygienic monitoring: practical experience of federal project «Clean air» activity

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation;

²Perm State University, Perm, 614990, Russian Federation;

³Perm National Research University, Perm, 614990, Russian Federation;

⁴The Regional Office of Customers and Human Well-Being Protection in the Krasnoyarsk Region, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

Introduction. Ensuring the safety of the environment is an indispensable condition for the sustainable development of human society. The Federal project “Clean Air” set this goal. Improving air quality is most relevant for large industrial cities, including in the town of Krasnoyarsk. The monitoring for both atmospheric air quality and chemicals that form the most significant risks to public health must aim at the spatial characteristics of exposure levels to assess the effectiveness and results of air protection measures.

Material and methods. To solve the mentioned problems, we used data from field studies of atmospheric air quality for 2014–2018, summary calculations of dispersion of pollutants, the results of their linked analysis, health risk assessment, cluster analysis, and geoinformation systems, implemented the MP 2.1.6.0157–19 algorithm.

Results. For each post, a monitoring program has been formed. A list of substances to be controlled for characterizing this cluster has been determined. As a result, the city monitoring program included 23 unique substances for the full monitoring program and 13 substances for reconnaissance assessment. Monitoring studies of atmospheric air quality, including priority substances that create an unacceptable level of potential health effects, cover more than 99% of the pilot area population.

Conclusions. The study results showed the relevance and timeliness of interagency efforts in managing atmospheric air quality in the territories. A shared observation network of Hydrometeorological Research Center of Russian Federation (Hydrometcenter of Russia), Rosпотребнадзор, and regional atmospheric air quality monitoring networks with maximum resource savings, without duplication of studies, will allow for representative data collection and the formation of a joint information base. All this will provide good management decisions regarding air protection measures and measures of hygienic and medical-preventive nature.

Key words: clean air; socio-hygienic monitoring; public health; habitat; exposure; health risk; risk factors; posts and observation program

For citation: Kleyn S.V., Zaitseva N.V., May I.V., Balashov S.Yu., Zagorodnov S.Yu., Goryaev D.V., Tichonova I.V., Andrishunas A.M. Working out ambient air quality measuring programs for socio-hygienic monitoring: practical experience of federal project «Clean Air» activity. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2020; 99 (11): 1196–1202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-11-1196-1202> (In Russ.)

For correspondence: Svetlana V. Kleyn, MD, Ph.D., DSci., Assoc. Prof., Head of the Department of sanitary and hygienic analysis and monitoring systemic methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: kleyn@fcrisk.ru

Information about the authors:

Kleyn S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>; May I.V., <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>; Goryaev D.V., <https://orcid.org/0000-0001-6450-4599>; Zaitseva N.V., <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>; Tichonova I.V., <https://orcid.org/0000-0003-4111-8454>; Balashov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539>; Zagorodnov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6357-1949>; Andrishunas A.M., <https://orcid.org/0000-0002-0072-5787>

Gratitude. The conjugation of the calculated and field data at the points of location of the air quality monitoring posts with subsequent linear interpolation and extrapolation of the obtained compliance coefficients was carried out in the Department of mathematical modeling of systems and processes of the Federal Research Center of Medical and Preventive Technologies for Managing Public Health Risks (Head - D.A. Kiryanov, MD, Ph.D)

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no funding.

Contribution: Kleyn S.V. – concept and design of the study, collection, and processing of material, writing the text; Zaitseva N.V. – research concept and design, editing; May I.V. – concept and design of the study, editing; Balashov S. Yu. – collection and processing of material, writing a text; Zagorodnov S.Yu., Goryaev D.V., Tichonova I.V., Andrishunas A.M. – collection and processing of material. Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: July 15, 2020

Accepted: November 05, 2020

Published: December 22, 2020

Введение

Благополучие и здоровье нынешнего и будущего поколений является главной целью, на обеспечение которой должна быть направлена вся деятельность высших органов власти страны [1–4]. Одна из основных задач в достижении этой цели – обеспечение экологической безопасности и безопасности среды обитания, которая является неременным условием устойчивого развития человеческого общества, а также достижения целевых показателей национального проекта «Экология» федерального проекта «Чистый воздух» [5–7].

Улучшение качества атмосферного воздуха, являясь основной задачей данного федерального проекта, наиболее актуально для крупных промышленных городов. Наиболее остро данная проблема стоит в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферы, в том числе в го-

родах Нижний Тагил, Челябинск, Магнитогорск, Братск, Красноярск, Норильск, Новокузнецк, Чита, в которых предусмотрено снижение совокупного объёма выбросов к 2024 г. не менее чем на 20%. При этом снижение количества выбросов должно быть ориентировано в первую очередь на вещества, представляющие потенциальную угрозу причинения вреда здоровью экспонированного населения как при кратковременном воздействии, так и при хронической экспозиции.

В этой связи для оценки эффективности и результативности запланированных и реализуемых воздухоохраных мероприятий мониторинг качества атмосферного воздуха должен быть нацелен как на пространственную характеристику уровней экспозиции населения, так и на мониторинг наиболее «рисковых» для здоровья населения примесей [8–12]. В настоящее время оценка качества атмосферного воздуха

осуществляется с применением как расчётных методов — результатов расчётов рассеивания выбросов от стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферы, так и результатов натурных исследований в рамках экологического и/или социально-гигиенического мониторинга [13]. Расчётные и натурные результаты исследования, кажде из которых обладают своими достоинствами и недостатками, при совокупном анализе могут дать верифицированные результаты, обладающие пространственными характеристиками и более высокой точностью [14–18].

В настоящее время утверждён единый нормативно-методический документ, определяющий алгоритм выбора точек и формирования программ мониторинга качества атмосферного воздуха — МР 2.1.6.0157-19 «Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиция населения для задач социально-гигиенического мониторинга» [19]. Апробация разработанных и изложенных в указанных методических рекомендациях подходов с учётом региональных особенностей пилотной территории с использованием результатов сводных расчётов рассеивания загрязняющих веществ и геоинформационных систем и послужила основанием для проведения настоящего исследования.

Цель исследования — апробировать методические подходы к выбору точек и формированию программ мониторинга качества атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга на пилотной территории (г. Красноярск).

Материал и методы

В качестве пилотной территории для апробации методических подходов был выбран г. Красноярск с численностью населения 1,1 млн человек и площадью 354 км², входящий в список приоритетных в рамках федерального проекта «Чистый воздух» городов с высоким уровнем загрязнения атмосферы.

Объектом исследования являлись параметры и пространственные характеристики источников выбросов загрязняющих атмосферный воздух веществ, уровни формируемой экспозиции по расчётным и натурным данным, плотность населения в жилых массивах пилотной территории.

Для оценки экспозиции выполнен сбор исходной картографической информации: электронные векторные слои территории г. Красноярск, границы городского округа, здания и сооружения с адресным реестром (информация передана Управлением Роспотребнадзора по Красноярскому краю).

На электронную векторную карту территории наносили источники выбросов всех промышленных предприятий и автотранспорта, используя единую городскую систему координат. Информация о стационарных и передвижных источниках выбросов г. Красноярска в виде банка данных (параметры источников выбросов в виде обменных файлов *.int формата УПРЗА «Эколог-Город») от промышленных предприятий (786 обменных файлов *.int), автономных источников теплоснабжения (АИТ) (1 обменный файл *.int) и автотранспорта (1 обменный файл *.int) предоставлена КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края».

Расчёты рассеивания от 8227 источников, в том числе от 6605 источников выбросов промышленных предприятий, 1306 автономных источников теплоснабжения и 316 участков улично-дорожной сети г. Красноярск, проводили по 268 загрязняющим веществам по регулярной сетке на общей площади 600 км² в расчётном прямоугольнике с шагом по оси X = 200 м, по оси Y = 200 м (центр расчётного прямоугольника — геометрический центр районов г. Красноярск). Общее количество узлов расчётной сетки составило 15 251 точку, из них 1952 точки расположены в жилой зоне города.

Расчёты рассеивания загрязняющих веществ от стационарных источников и автотранспорта выполняли с использованием УПРЗА «Эколог» версия 4.50.4, реализующей МРР-2017 «Методы расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», утверждённых приказом Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273. Константа целесообразности проведения расчётов задана уровнем 0,00001 мг/м³. Для расчётов среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере использовали программу УПРЗА «Эколог-Город» 4.50 с блоком расчёта «Средние», реализующую методику НИИ атмосферы и ГГО им. Воейкова. Метеорологические характеристики территории расположения г. Красноярск получены по специальному запросу от ГГО им. Воейкова в виде метеофайла.

Анализ результатов инструментальных наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха г. Красноярск выполнялся по данным ФГБУ «Среднесибирское УГМС» (8 постов, далее — ГУ ЦГМС), ТСН КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (5 постов, далее — ТСН), ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в г. Красноярске (22 поста) за 2014–2018 гг. по 26 веществам: алюминий, железо, азота диоксид, аммиак, азот (II) оксид, хлорид водорода, озон, сера диоксид, дигидросульфид, углерода оксид, гидрофторид, фториды плохо растворимые, бензол, кумол, диметилбензол, этилбензол, стирол, метилбензол, этилбензол, 1,2-диметилбензол, бенз(а)пирен, хлорэтен, фенол, ацетальдегид, формальдегид, взвешенные вещества. Данные инструментальных измерений, используемые для верификации расчётных данных, отвечали требованиям, изложенным в п. 5.11 МР 2.1.6.0157-19 и разделе 4.2. Руководства Р. 2.1.10.1920-04.

Базу расчётных данных верифицировали данными натурных исследований (для острой экспозиции использовали 95% процентиль из разовых концентраций за 2014–2018 гг. на каждом посту, для среднегодовой экспозиции — среднюю концентрацию на посту за 2014–2018 гг.) путём сопряжения расчётных и натурных данных в точках размещения постов мониторинга качества атмосферного воздуха с последующей линейной интерполяцией и экстраполяцией полученных коэффициентов соответствия [15, 20].

На основе полученных верифицированных данных в каждой точке расчётной сетки вычисляли параметры канцерогенного, острого и хронического неканцерогенного риска с использованием стандартных процедур [19, 21]: рассчитывали коэффициенты неканцерогенной опасности каждой примеси, при кратковременных и/или хронических воздействиях, уровни индивидуального канцерогенного риска. Сформированный массив данных в каждой расчётной точке с координатами (X; Y) характеризовался коэффициентами опасности примесей при остром (HQ_{ac}), хроническом (HQ_{cr}) воздействии и величиной индивидуального канцерогенного риска (CR_p). Для приведения параметров канцерогенного и неканцерогенного риска (CR_p , HQ_{ac} , HQ_{cr}) к единой размерности перед проведением процедуры кластеризации параметры стандартизовали в соответствии с МР 2.1.6.0157-19 [19].

Совокупность точек с параметрами CR_p , HQ_{ac} , HQ_{cr} подвергали процедуре кластерного анализа с использованием стандартного метода «сортировки ближайших центровид» в стандартизованном пакете программ по статистическому анализу Statistica (v. 12). В результате анализируемая совокупность расчётных точек, расположенная в жилых массивах, была разбита на группы «схожих» по системе параметров кластеров.

Количество кластеров (число стационарных постов мониторинга качества атмосферного воздуха) задавалось исходя из численности населения анализируемой территории [22] с учётом возможности увеличения числа постов наблюдения при возникновении новых задач, требующих расширения

сети наблюдения. Для данной территории количество кластеров (точек размещения постов мониторинга) в соответствии с п. 2.2 РД 52-04.186-89 [22] было задано не более 11.

Слой кластеров пересекался со слоем численности (плотности) населения, и выбирались реперные точки, находящиеся в границах кластера и имеющие плотность населения выше 75% максимальной плотности населения по кластеру. В каждом кластере параметры риска в реперных точках соотносились с критериями приемлемости риска и относились к какому-либо рангу (табл. 2 МР 2.1.6.0157-19 [19]). Далее ранги суммировались, и точка с наименьшей суммой рангов выбиралась как оптимальная для расположения поста наблюдения качества атмосферного воздуха в данной зоне (кластере).

В программу наблюдения включались все примеси, которые в сумме вносили не менее 80% в недопустимые уровни неканцерогенного (острого и хронического) и канцерогенного риска для здоровья, включая в обязательном порядке все примеси, коэффициенты опасности которых и/или параметры индивидуального канцерогенного риска превышали допустимые уровни. Дополнительно для рекогносцировочной оценки включали вещества, формирующие превышения ПДК (м.р., с.с.) по ретроспективным данным натурных исследований, установленные на постах ГУ ЦГМС, ТСН, ФБУЗ «ЦГиЭ», и вещества, не мониторируемые ранее, но вошедшие в приоритеты по индексу сравнительной канцерогенной и/или неканцерогенной опасности (раздел 4 Р 2.1.10.1920-04 [21]).

При наличии поста наблюдения ГУ ЦГМС или ТСН в границах кластера сопоставляли программу наблюдений на посту и перечень веществ, создающих неприемлемый уровень потенциального воздействия на здоровье населения и характеризующих данный кластер. По результатам сопоставления разрабатывали программу наблюдения для постов СГМ исключая дублирование лабораторных исследований по уже мониторируемому на постах ГУ ЦГМС и ТСН веществам.

Результаты

Результаты сводных расчётов рассеивания от стационарных и передвижных источников показали, что в жилых массивах превышены гигиенические нормативы по марганцу и его соединениям (до 7,29 ПДКм.р.), азота диоксиду (до 14,67 ПДКм.р., 601,3 ПДКс.с.), азота оксиду (до 1,19 ПДКм.р., 65,1 ПДКс.с.), углероду (до 3,74 ПДКм.р., 11,8 ПДКс.с.), серы диоксиду (до 1,72 ПДКм.р., 5,88 ПДКс.с.), углерода оксиду (до 2,86 ПДКм.р., 20,5 ПДКс.с.), фтористым газообразным соединениям (до 7,33 ПДКм.р., 1,1 ПДКс.с.), бензолу (до 2,78 ПДКм.р.), диметилбензолу (1,11 ПДКм.р.), метилбензолу (до 1,18 ПДКм.р.), этилбензолу (до 1,06 ПДКм.р.), этилмеркаптану (до 4,65 ПДКм.р.), этантиолу (до 1,46 ПДКм.р.), алканам С12-19 (в пересчёте на С) (до 3,57 ПДКм.р.), пыли неорганической: 20–70% двуокиси кремния (до 88,73 ПДКм.р.), пыли неорганической: ниже 20% двуокиси кремния (до 42,5 ПДКм.р.), бенз(а)пирену (до 16,96 ПДКс.с.), формальдегиду (до 7,53 ПДКс.с.), бензину (нефтяному, малосернистому в пересчёте на углерод) (до 9,9 ПДКс.с.).

Анализ данных инструментальных исследований на постах ФГБУ «Среднесибирское УГМС», филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в г. Красноярск, КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (рис. 1, см. на вклейке) за 2014–2018 гг. выявил превышения гигиенических нормативов по бенз(а)пирену (до 6,68 ПДКс.с.), аммиаку (до 2,7 ПДКм.р.), бензолу (до 5,2 ПДКм.р.), взвешенным веществам (до 7,6 ПДКм.р.), взвешенным частицам РМ10 (до 1,86 ПДКм.р., до 2 ПДКс.с.), взвешенным частицам РМ2,5 (до 4,61 ПДКм.р., до 3,3 ПДКс.с.),

диоксиду азота (до 1,8 ПДКм.р., до 1,4 ПДКс.с.), диоксиду серы (до 1,2 ПДКм.р.), ксилолу (до 3,2 ПДКм.р.), кумолу (до 1,9 ПДКм.р.), оксиду азота (до 1,5 ПДКм.р.), оксиду углерода (до 3,6 ПДКм.р.), сероводороду (до 1,6 ПДКм.р.), толуолу (до 1,4 ПДКм.р.), фенолу (до 2,3 ПДКм.р.), формальдегиду (до 47,2 ПДКм.р., до 2,31 ПДКс.с.), фториду водорода (до 3,2 ПДКм.р., до 1,62 ПДКс.с.), хлориду водорода (до 26,5 ПДКм.р.), этилбензолу (до 5 ПДКм.р.).

Сопряжение расчётных и натуральных данных на постах мониторинга качества атмосферного воздуха показало, что коэффициенты соответствия концентраций по анализируемым веществам составили от 0,022 до 436 934,7 наибольшие различия по расчётным и натурным концентрациям наблюдались по этилбензолу (к 48,03–436 934,7), 1,2-диметилбензолу (к 5344,3–53 875,9), озону (к 5807,6), дигидросульфиду (к 1,24–2882,6), гидроксибензолу (к 17,85–2119,8).

Анализ аппроксимированных данных в жилых массивах показал, что гигиенические нормативы превышены по марганцу и его соединениям (до 7,29 ПДКм.р.), азота диоксиду (до 3,73 ПДКм.р., 62,76 ПДКс.с.), аммиаку (до 6,7 ПДКм.р., 3,33 ПДКс.с.), азота оксиду (до 2,55 ПДКм.р., 32,3 ПДКс.с.), гидрохлориду (до 167 ПДКм.р.), озону (до 516,5 ПДКм.р.), углероду (до 3,74 ПДКм.р., 11,8 ПДКс.с.), серы диоксиду (до 3,11 ПДКс.с.), дигидросульфиду (до 6,89 ПДКм.р.), углерода оксиду (до 6,95 ПДКм.р., 17,5 ПДКс.с.), фтористым газообразным соединениям (до 2,52 ПДКм.р., 2,13 ПДКс.с.), бензолу (до 33,6 ПДКм.р., 5,71 ПДКс.с.), кумолу (до 6,21 ПДКм.р.), диметилбензолу (до 32,3 ПДКм.р.), метилбензолу (до 9,42 ПДКм.р.), этилбензолу (до 135,53 ПДКм.р.), гидроксибензолу (до 444,12 ПДКм.р., 2,27 ПДКс.с.), формальдегиду (до 49,2 ПДКм.р.), этилмеркаптану (до 4,65 ПДКм.р.), этантиолу (до 1,46 ПДКм.р.), алканам С12–19 (до 3,57 ПДКм.р.), взвешенным веществам (до 59,2 ПДКм.р., 8,28 ПДКс.с.), этилбензолу (до 4,63 ПДКс.с.), бенз(а)пирену (до 39,7 ПДКс.с.), формальдегиду (до 132,8 ПДКс.с.), бензину (нефтяному, малосернистому, в пересчёте на углерод) (до 9,9 ПДКс.с.).

Верифицированные уровни экспозиции в жилых массивах формируют при остром воздействии повышенные коэффициенты опасности от натрия едкого (НҚ до 2,8), азота диоксида (НҚ до 1,6), азота оксида (НҚ до 1,4), аммиака (НҚ до 3,8), гидрохлорида (НҚ до 15,9), углерода оксида (НҚ до 1,5), бута-1,3-диена (НҚ до 2,8), бензола (НҚ до 67,2), диметилбензола (НҚ до 1,5), метилбензола (НҚ до 1,5), этилбензола (НҚ до 2,7), акролеина (НҚ до 96,2), формальдегида (НҚ до 51,3), взвешенных веществ (НҚ до 98,7). При хроническом воздействии повышенные коэффициенты опасности формируют меди оксид (НҚ до 2,05), азота диоксид (НҚ до 62,8), аммиак (НҚ до 1,33), азота оксид (НҚ до 32,3), гидрохлорид (НҚ до 3,66), углерод (НҚ до 11,8), серы диоксид (НҚ до 3,1), дигидросульфид (НҚ до 24,9), углерода оксид (НҚ до 17,4), фториды неорганические плохо растворимые (НҚ до 1,7), бута-1,3-диен (НҚ до 1,9), бензол (НҚ до 19,1), диметилбензол (НҚ до 3,7), этилбензол (НҚ до 18,3), бенз(а)пирен (НҚ до 39,7), гидроксибензол (НҚ до 2,27), формальдегид (НҚ до 442,8), бензин (НҚ до 209,2), керосин (НҚ до 413,3), взвешенные вещества (НҚ до 16,6), мазутная зола (НҚ до 1,39).

Повышенный уровень индивидуального канцерогенного риска формировался хромом (СР до $1,39 \cdot 10^{-4}$), углеродом (СР до $1,14 \cdot 10^{-3}$), бензолом (СР до $1,93 \cdot 10^{-3}$), этилбензолом (СР до $8,82 \cdot 10^{-3}$), формальдегидом (СР до $7,63 \cdot 10^{-3}$). Выкопировка из матрицы (массива пространственных данных) диапазонов параметров канцерогенного и неканцерогенного риска в жилой зоне представлена в табл. 1, 2.

В результате кластерного анализа параметров риска в совокупности точек жилой застройки на модельной территории были получены 10 кластеров, характеризующихся схожестью свойств по совокупности параметров с однородными значениями риска здоровью населения (рис. 2, см. на вклейке).

Таблица 1

Значения неканцерогенного риска от загрязнения атмосферного воздуха

Вещество	CAS	HQ _{aci}		HQ _{cri}	
		min	max	min	max
Азота диоксид	10102-44-0	0,112	1,59	0,170	62,8
Аммиак	7664-41-7	0,004	3,83	0,016	1,34
Азот (II) оксид	10102-43-9	0,021	1,42	0,025	32,3
Гидрохлорид (по молекуле HCl)	7647-01-0	0,114	15,91	0,074	3,66
Сера диоксид	7446-09-5	0,011	0,76	0,013	3,12
Дигидросульфид	7783-06-4	0,001	0,55	0,015	24,9
Углерода оксид	630-08-0	0,036	1,51	0,057	17,5
Хлор	7782-50-5	0,005	0,40	0,004	0,40
Бута-1,3-диен	106-99-0	0,009	2,78	0,012	1,93
Бензол	1-43-2	0,003	67,2	0,020	19,1
Диметилбензол (смесь о-, м-, п- изомеров)	1330-20-7	0,0003	1,50	0,008	3,66
Метилбензол	108-88-3	0,0004	1,49	0,003	0,29
Этилбензол	100-41-4	0,006	2,71	0,0002	18,3
Гидроксibenзол (фенол)	108-95-2	0,001	0,74	0,043	2,27
Проп-2-ен-1-аль (Акролеин)	107-02-8	0,167	96,24	0,001	0,54
Формальдегид	50-00-0	0,145	51,3	0,194	442,8
Проп-2-еннитрил	107-13-1	0,000	0,11	0,001	0,21
Взвешенные вещества	—	0,220	98,7	0,080	16,6
Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)	7440-62-2	0,003	0,146	0,028	1,39

Количество экспонированного населения в каждом кластере варьировало от 28,2 тыс. человек в 3 кластере, до 369,0 тыс. человек в 1 кластере.

В каждом кластере с использованием методических подходов, описанных в разделе «Материал и методы», были предложены по 1–5 точек расположения постов мониторинга качества атмосферного воздуха со схожими характеристиками (всего 41 точка в 10 кластерах). После согласования со специалистами территориального управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю было выбрано 10 точек оптимального расположения постов мониторинга качества атмосферного воздуха (см. рис. 2).

Для каждого поста (предложенной точки) была сформирована программа наблюдения и определен перечень веществ, подлежащих контролю. Совокупно по всем кластерам программа мониторинга включала 23 уникальных вещества: азота оксид, азота диоксид, аммиак, бенз(а)пирен, бензин (нефтяной, малосернистый, в пересчете на углерод), бензол, бута-1,3-диен, взвешенные вещества, гидроксibenзол (фенол), гидрохлорид (по молекуле HCl), дигидросульфид (сероводород), диметилбензол (смесь о-, м-, п-изомеров), керосин, натр едкий, озон, проп-2-ен-1-аль (акролеин), серы диоксид, углерод, углерода оксид, формальдегид, фториды неорганические плохо растворимые, фтористые газообразные соединения (в пересчете на фтор), этилбензол. Программа по кластерам для рекогносцировочной оценки была дополнена 13 веществами, формирующими превышения ПДК (м.р., с.с.) по ретроспективным данным натурных исследований или не мо-

Таблица 2

Значения канцерогенного риска от загрязнения атмосферного воздуха

Вещество	CAS	CRi - Взрослые	
		min	max
Бута-1,3-диен	106-99-0	3,08E-07	5,08E-05
Бензол	1-43-2	2,00E-06	1,93E-03
Этилбензол	100-41-4	9,87E-08	8,82E-03
Формальдегид	50-00-0	3,35E-06	7,63E-03
Бенз(а)пирен	50-32-8	2,95E-08	1,93E-05
Хром (в пересчете на хрома (VI) оксид)	18540-29-9	7,85E-07	1,39E-04
Углерод	1333-86-4	1,91E-06	1,14E-03
Проп-2-еннитрил	107-13-1	8,56E-08	1,29E-05

ниторируемыми ранее, но вошедшими в приоритеты по индексу сравнительной канцерогенной и/или неканцерогенной опасности.

В зонах репрезентативности рекомендуемых постов в 9 кластерах (1, 2, 4–10) расположены действующие посты ГУ ЦГМС и ТСН (см. рис. 2). По результатам сопоставления программ мониторинга качества атмосферного воздуха на постах ГУ ЦГМС и/или ТСН, расположенных в границах кластера, и перечня веществ, создающих неприемлемый уровень потенциального воздействия на здоровье населения и характеризующих данный кластер, сформировали программу наблюдения для маршрутных постов СГМ. Так, например, для 1-го кластера была рекомендована оптимальная точка размещения поста мониторинга ФБУЗ «ЦГиЭ в Красноярском крае» по адресу проспект Ульяновский, д. 16, и программа мониторинга, содержащая 4 вещества с полной программой мониторинга (300 разовых исследований в год) – гидрофторид, взвешенные частицы РМ 2,5, РМ 10, проп-2-ен-1-аль (акролеин) и 13 дополнительных веществ с полной программой мониторинга рекогносцировочно (20 среднесуточных или 80 разовых исследований в год) – диметилбензол, марганец, свинец и его неорганические соединения, озон, 1,2-дихлорэтан, дихлорметан, кобальта оксид (в пересчете на кобальт), никель, проп-2-еннитрил, тетрахлорметан, тетрахлорэтилен, трихлорэтилен, диалюминия триоксид. Остальные приоритетные для кластера вещества (формальдегид, азота диоксид, бензол, взвешенные вещества, дигидросульфид, бенз(а)пирен, азота оксид, аммиак, гидроксibenзол, гидрохлорид, углерода оксид, фториды неорганические плохо растворимые, серы диоксид) и несколько дополнительных с рекогносцировочной оценкой (стирол, этилбензол) мониторируются на действующих в Красноярске постах мониторинга ГУ «ЦГМС» и ТСН, расположенных в границах кластера.

В 3-м кластере отсутствуют действующие посты мониторинга ГУ ЦГМС и ТСН, в этой связи для оптимальной точки расположения поста СГМ (ул. 60 лет Октября, д. 102) была рекомендована программа, содержащая 15 приоритетных веществ по полной программе наблюдений (75 среднесуточных или 300 разовых исследований в год): азота оксид, азота диоксид, аммиак, взвешенные вещества, взвешенные частицы РМ10, РМ2,5, дигидросульфид, серы диоксид, углерода оксид, формальдегид, бенз(а)пирен, гидрохлорид, бензол, проп-2-ен-1-аль, углерод.

Предварительные результаты лабораторных исследований, выполненные в январе-апреле 2020 г. на рекомендованных по результатам данного исследования постах ФБУЗ «ЦГиЭ в Красноярском крае», выявили превышения гигиенических нормативов при остром воздействии по 13 веществам

(азота оксид, азота диоксид, аммиак, бензол, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM_{2,5}, PM₁₀, гидроксibenзол, диметилбензол, дихлорметан, диметилбензол, углерода оксид, диметилбензол) до 14,5 ПДКм.р., при хроническом воздействии – по 17 веществам (азота оксид, азота диоксид, аммиак, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, взвешенные частицы PM₁₀, PM_{2,5}, гидроксibenзол, диметилбензол, дихлорметан, метилбензол, пропан-2-еннитрил, тетраэторэтилен, углерода оксид, формальдегид, этилбензол) до 34 ПДКс.с. Полученные результаты свидетельствуют о корректности выбора точек и программ мониторинга на пилотной территории с учётом территориальных особенностей расположения стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферы, уровней формируемой экспозиции, специфики загрязнения и плотности населения в зонах жилой застройки.

Обсуждение

Полученные результаты и апробированные подходы в полной мере согласуются как с отечественными, так и с международными подходами к оценке качества атмосферного воздуха [4, 23–26].

Существенные различия, регистрируемые между расчётными данными и результатами натурных исследований на постах мониторинга, являются основанием для пристального внимания надзорных органов к ведомостям инвентаризации отдельных хозяйствующих субъектов, установленным для них нормативов допустимых выбросов. Идентификация источников загрязнения, как стационарных, так и передвижных, и полный их учёт в сводных базах данных позволит получать более корректную картину пространственного распределения загрязнений атмосферного воздуха и решать широкий спектр межведомственных задач, включая задачи по разработке воздухоохраных мероприятий, в том числе квотированию выбросов, архитектурно-планировочных, градостроительных, медико-профилактических и других мероприятий, направленных на управление риском здоровью экспонированного населения.

Предложенные и апробированные методические подходы к обоснованию точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга с учётом сложившейся сети экологического мониторинга на текущий момент могут быть реализованы на любой территории, как вошедшей в список приоритетных в рамках федерального проекта «Чистый воздух», так и не включённой в него. Единственным условием реализации подходов является заинтересованность лиц, принимающих решения, в максимально полной и достоверной информации о качестве воздуха с позиций обеспечения здоровья и санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Заключение

Результаты выполненного исследования показали актуальность и своевременность межведомственных усилий в задачах управления качеством атмосферного воздуха на территориях. Общая сеть наблюдений Росгидромета, Роспотребнадзора и региональных сетей мониторинга качества атмосферного воздуха при максимальной экономии ресурсов и исключении дублирования исследований позволит осуществлять репрезентативный сбор данных и формировать информационный банк с целью принятия адекватных управленческих решений как в части воздухоохраных мероприятий, так и мероприятий гигиенического и медико-профилактического характера.

Так, на пилотной территории (г. Красноярск) с использованием научно обоснованной, апробированной и утверждённой методологии предложены точки оптимального расположения постов (10 маршрутных постов) и программы мониторинга качества атмосферного воздуха (всего 36 веществ) для задач СГМ. В результате мониторинговыми исследованиями качества атмосферного воздуха, включающими приоритетные вещества, создающие неприемлемый уровень потенциального воздействия на здоровье, охвачено более 99% населения пилотной территории.

Литература

(п.п. 3, 4, 12, 16, 17, 23–26 см. References)

- Онищенко Г.Г. Государственная политика по укреплению здоровья российской нации. *Экология человека*. 2016; (11): 59–64.
- Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году». М.; 2019.
- Попова А.Ю., Зайцева Н.В., Май И.В. Здоровье населения как целевая функция и критерий эффективности мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01>
- Паспорт национального проекта «Экология». М.; 2018.
- Аверин А.Н., Ляхов В.П., Евтушенко С.А., Нувахов Т.А. Значение национального проекта «Экология» для экологического благополучия российского населения. *Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление*. 2019; (4): 131–4.
- Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Горяев Д.В. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2019; (3): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01>
- Авалиани С.Л., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Судакова Е.В., Сковронская С.А. и др. Оптимизация системы мониторинга качества среды обитания для целей управления риском здоровью населения. В кн.: Попова А.Ю., Зайцева Н.В., ред. *Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь; 2018: 199–204.
- Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Шашина Т.А., Додина Н.С. Актуальные проблемы управления рисками здоровью населения в России. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(6): 572–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-572-575>
- Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Синицына О.О., Шашина Т.А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования. *Анализ риска здоровью*. 2015; (2): 4–14. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2015.2.01>
- Зайцева Н.В., Клейн С.В., Вековщина С.А., Андришунас А.М. Гигиеническая оценка динамики уровня загрязнения атмосферного воздуха в Российской Федерации. В кн.: Попова А.Ю., Зайцева Н.В., ред. *Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Анализ риска здоровью – 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания»*. Пермь; 2020: 235–43.
- Винокурова М.В., Винокуров М.В., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Малых О.Л. Оценка качества атмосферного воздуха населенных мест расчетным методом в системе социально-гигиенического мониторинга. *Гигиена и санитария*. 2004; 83(5): 25–6.
- Май И.В., Клейн С.В., Чигвинцев В.М., Балашов С.Ю. Методические подходы к повышению точности оценки экспозиции населения на основе сопряжения расчетных и натурных данных о качестве атмосферного воздуха. *Анализ риска здоровью*. 2013; (4): 17–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2013.4.02>
- Май И.В., Кокоулина А.А., Балашов С.Ю. К вопросу оптимизации мониторинга качества атмосферного воздуха для реализации федерального проекта «Чистый воздух». *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(11): 931–6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-11-931-936>
- MP 2.1.6.0157-19. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха и количественная оценка экспозиция населения для задач социально-гигиенического мониторинга. М.; 2019.
- Скворцов А.В. *Триангуляция Делоне и ее применение*. Томск; 2002.
- Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.; 2004.
- РД 52-04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.; 1989.

References

- Onishchenko G.G. State policy to promote the health of the Russian nation. *Ekologiya cheloveka*. 2016; (11): 59–64. (in Russian)
- State report «On the state of sanitary-epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2018». Moscow; 2019. (in Russian)
- WHO. Exposure to ambient air pollution from particulate matter for 2016. Summary of results. Geneva; 2020. Available at: https://www.who.int/air-pollution/data/AAP_exposure_Apr2018_final.pdf?ua=1
- WHO outdoor air quality guidelines. Copenhagen; 2000. Available at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/policy/who-outdoor-air-quality-guidelines>
- Popova A.Yu., Zaytseva N.V., May I.V. Population health as a target function and criterion for assessing efficiency of activities performed within «Pure air» federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 4–13. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.01> (in Russian)
- Passport of the national project «Ecology». Moscow; 2018. (in Russian)
- Averin A.N., Lyakhov V.P., Evtushenko S.A., Nuvakhov T.A. The importance of the national project «Ecology» for the environmental well-being of the Russian population. *Nauka i obrazovanie: khozyaystvo i ekonomika; predprinimatel'stvo; pravo i upravlenie*. 2019; (4): 131–4. (in Russian)
- Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Goryaev D.V. Methodical approaches to selecting observation points and programs for observation over ambient air quality within social and hygienic monitoring and «Pure air» federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (3): 4–17. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.3.01> (in Russian)
- Avaliani S.L., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A., Sudakova E.V., Skovronskaya S.A., et al. Optimization of the system for monitoring the quality of the environment for managing public health risk. In: Popova A.Yu., Zaytseva N.V., eds. *Current Issues of Risk Analysis in Ensuring the Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population and Consumer Protection. Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Aktual'nye voprosy analiza riska pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebitel'ev. Materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Perm'; 2018: 199–204. (in Russian)
- Rakitskiy V.N., Avaliani S.L., Shashina T.A., Dodina N.S. Actual problems of population health risks management in Russia. *Gigiya i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(6): 572–5. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-572-575> (in Russian)
- Rakhmanin Yu.A., Novikov S.M., Avaliani S.L., Sinitsyna O.O., Shashina T.A. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Analiz riska zdorov'yu*. 2015; (2): 4–14. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2015.2.01.eng>
- WHO. Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016. Geneva; 2018. Available at: http://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf?ua=1
- Zaytseva N.V., Kleyn S.V., Vekovshinina S.A., Andrishunas A.M. Hygienic assessment of the dynamics of atmospheric air pollution in the Russian Federation. In: Popova A.Yu., Zaytseva N.V., eds. *Materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Health Risk Analysis-2020 together with the International Meeting on Environment and Health Rise-2020 and the Round Table on Food Safety» [Materialy X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Analiz riska zdorov'yu – 2020 sovmestno s mezhdunarodnoy vstrechey po okruzhayushchey srede i zdorov'yu Rise-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya»]*. Perm'; 2020: 235–43. (in Russian)
- Vinokurova M.V., Vinokurov M.V., Gurvich V.B., Kuz'min S.V., Malykh O.L. Assessment of ambient air quality in the localities by the calculation method in the sociohygienic monitoring. *Gigiya i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2004; 83(5): 25–6. (in Russian)
- May I.V., Kleyn S.V., Chigvintsev V.M., Balashov S.Yu. Methodical approaches to increasing the accuracy of exposure assessment based on the conjugation of simulation and monitoring data on ambient air quality. *Analiz riska zdorov'yu*. 2013; (4): 17–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2013.4.02.eng>
- Mohan M., Bhati S., Rao A. Application of air dispersion modelling for exposure assessment from particulate matter pollution in mega city Delhi. *Asia-Pac. J. Chem. Eng.* 2011; 6(1): 85–94.
- Fauser P., Ketzler M., Becker T., Plejdrup M.S., Brandt J., Gidhagen L., et al. Human exposure to carcinogens in ambient air in Denmark, Finland and Sweden. *Atmos. Environ.* 2017; 167: 283–97.
- May I.V., Kokoulina A.A., Balashov S.Yu. On the issue of optimization of atmospheric air quality monitoring for the implementation of the Federal project «Clean Air». *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(11): 931–6. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-11-931-936> (in Russian)
- MR 2.1.6.0157-19. Formation of programs for monitoring atmospheric air quality and quantifying the exposure of the population for the tasks of social and hygienic monitoring. Moscow; 2019. (in Russian)
- Skvortsov A.V. *Delaunay Triangulation and Its Application [Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye]*. Tomsk; 2002. (in Russian)
- R 2.1.10.1920-04. Guidance on assessing public health risk from exposure to chemicals that pollute the environment. Moscow; 2004. (in Russian)
- R 52.04.186-89. Air Pollution Control Guide. Moscow; 1989. (in Russian)
- European Environment Agency. Air quality in Europe – 2019 report. Luxembourg; 2019. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
- European Environment Agency. Air quality in Europe – 2018 report. Luxembourg; 2018. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>
- European Environment Agency. Air quality in Europe – 2017 report. Luxembourg; 2017. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>
- Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future. Copenhagen; 2017. Available at: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/331660/Evolution-air-quality.pdf

К ст. Клейн С.В. и соавт.

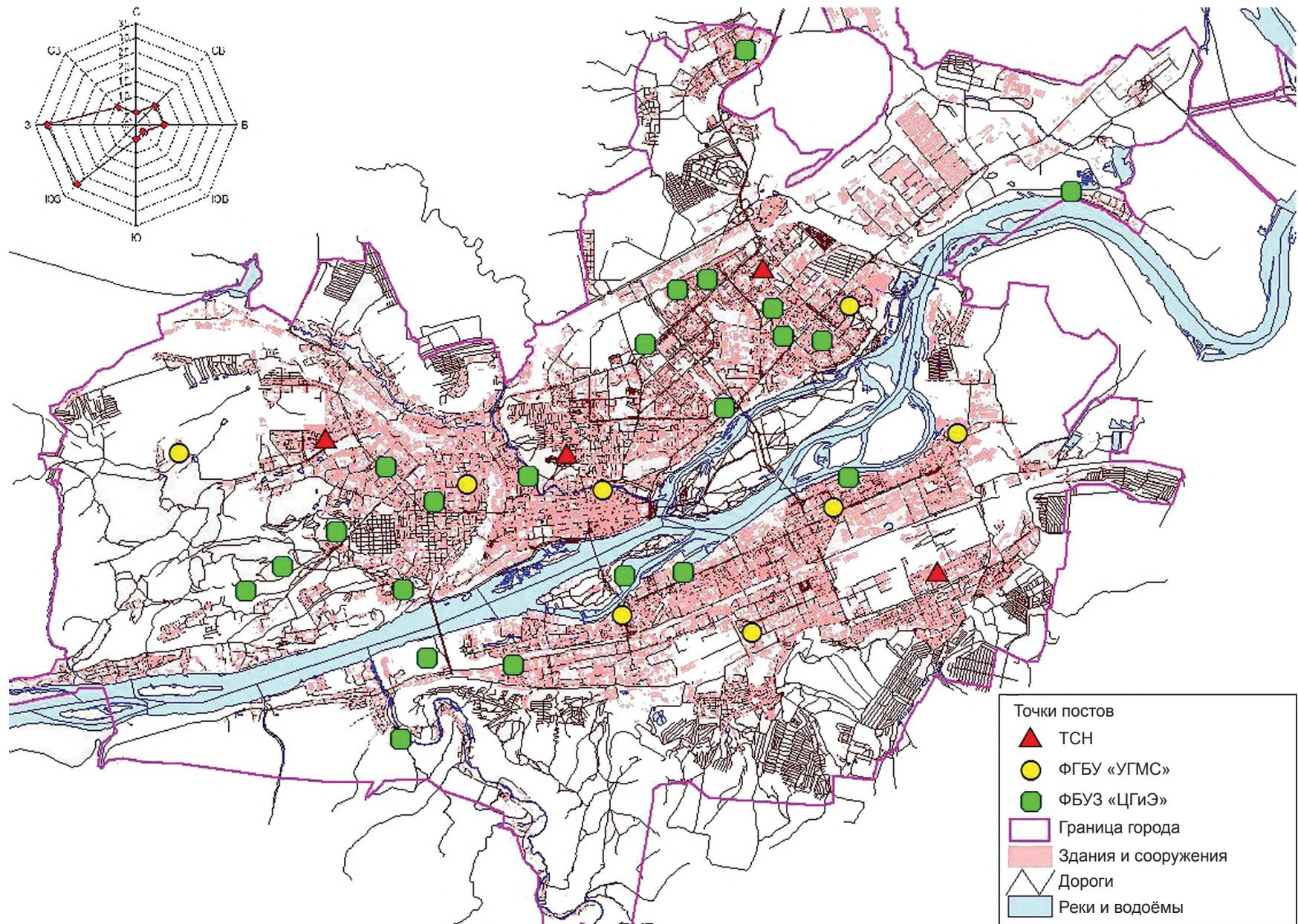


Рис. 1. Схема расположения постов мониторинга качества атмосферного воздуха ФГБУ «Среднесибирское УГМС», филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в г. Красноярск, КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» в 2014–2018 гг.

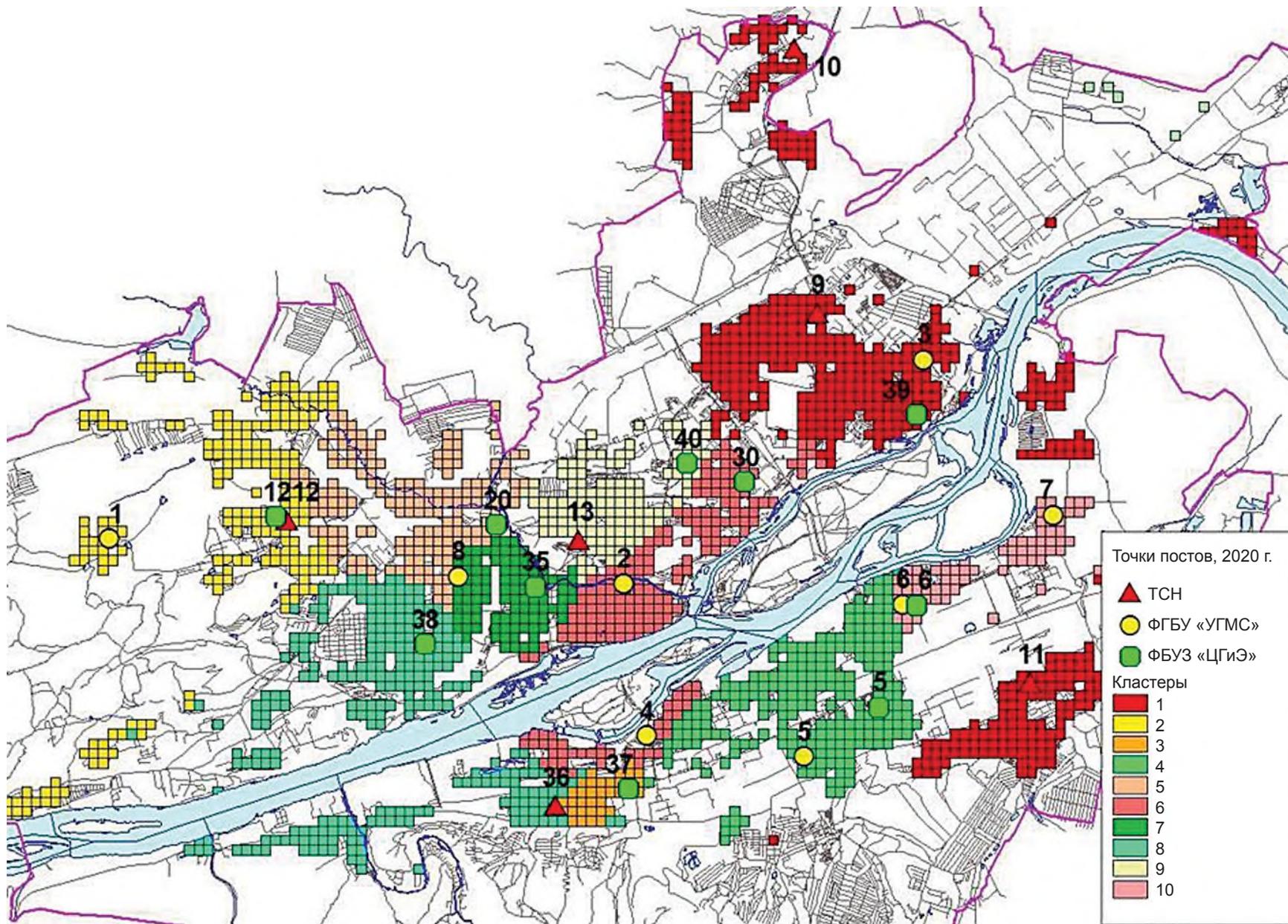


Рис. 2. Схема расположения 10 кластеров, предлагаемых в них постов для СГМ и существующих постов мониторинга качества атмосферного воздуха ФГБУ «Среднесибирское УГМС», КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края».