

## Оценка и прогноз экологической ситуации в Санкт-Петербурге по показателям загрязнения атмосферного воздуха и изменения здоровья населения

В. Н. Мовчан<sup>1</sup>, П. С. Зубкова<sup>1</sup>, И. К. Калинина<sup>2</sup>,  
М. А. Кузнецова<sup>1</sup>, Н. А. Шейнерман<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет,  
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,  
Российская Федерация, 197110, Санкт-Петербург, Корпусная ул., 18

**Для цитирования:** Мовчан В.Н., Зубкова П.С., Калинина И.К., Кузнецова М.А., Шейнерман Н.А. Оценка и прогноз экологической ситуации в Санкт-Петербурге по показателям загрязнения атмосферного воздуха и изменения здоровья населения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 178–193. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.204>

На основе данных государственной статистики по загрязнению атмосферного воздуха и заболеваемости населения Санкт-Петербурга оценено изменение экологической ситуации в течение последних 35 лет периода экономических преобразований в России. Выделены два этапа изменений техногенной нагрузки на окружающую среду. На первом (1993–2008 гг.) в 3 раза снизился общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в связи со спадом промышленного производства в городе. Второй (с начала 2009 г.) характеризуется ростом общего объема выбросов более чем в 2 раза, вызванного значительным увеличением роли автотранспорта как загрязнителя атмосферного воздуха. За исследуемый период заметно возросла и заболеваемость населения. Особенно отчетливо это проявилось в 2005–2009 гг., когда первичная заболеваемость населения в Санкт-Петербурге увеличилась в 1,4 раза. За рассматриваемый период существенно изменились показатели заболеваемости населения в административных районах Санкт-Петербурга. В индустриальном Колпинском и в Центральном районах в конце 1990-х гг. резко выросла первичная заболеваемость детей, и по этому показателю указанные районы переместились с 10-го и 11-го мест на первые места в городе. На основе результатов проведенной оценки неканцерогенного риска для здоровья, возникающего при ингаляционном поступлении в организм приоритетных загрязняющих веществ, сделан вывод, что в Центральном районе можно ожидать наибольшую среди всех административных районов города заболеваемость населения, а Колпинский район по этому показателю переместится со 2-го места на 6-е. Наименьший риск развития неканцерогенных эффектов при комплексном воздействии загрязняющих атмосферный воздух веществ — в Петродворцовом районе. Указывается на необходимость принятия мер по снижению техногенной (транспортной) нагрузки на городскую среду в административных районах с высокими показателями неканцерогенного риска для здоровья. Обосновывается принятие первоочередных мер в Центральном районе Санкт-Петербурга.

*Ключевые слова:* загрязнение атмосферного воздуха, заболеваемость населения, оценка риска для здоровья.

## Введение

За последние 30 лет в экономике России произошли существенные изменения, которые не могли не повлиять на экологическую ситуацию и в стране в целом, и в отдельных ее регионах. Эти изменения в первую очередь коснулись крупных городов, для которых характерна высокая насыщенность промышленными предприятиями, транспортом и объектами коммунального обслуживания. В таких городах после так называемого переходного периода, связанного с упадком экономики страны, стали увеличиваться объемы строительства, многие предприятия сменили производственный профиль, на некоторых было модернизировано производство, резко увеличился парк автомобилей. Все это должно было привести к изменению экологической ситуации в городах, а следовательно, и к изменению состояния здоровья городского населения.

Рассмотренные процессы коснулись и Санкт-Петербурга — одного из крупнейших промышленных, культурных и научных центров России. Некоторые произошедшие изменения в этом городе отрицательно повлияли на условия проживания горожан. Например, при строительстве новых жилых районов значительная часть возведенных ранее в Санкт-Петербурге промышленных предприятий оказалась в непосредственной близости от жилья горожан. В середине 1990-х гг. в крайне неблагоприятных условиях проживали около 250 тыс. человек, в том числе 68 тыс. человек — на территории санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий. В 2013 г. число лиц, проживающих в пределах СЗЗ, увеличилось до 153 тыс. человек, а в 2015 г. таковых было 138 тыс. человек, что составляло около 3% всего населения города (Худолей, 1998; О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия..., 2016). Серьезную экологическую проблему в Санкт-Петербурге создает и стремительно увеличивающийся автомобильный транспорт.

Анализу экологической ситуации в Санкт-Петербурге посвящены ежегодные аналитические обзоры Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга, а также ряд научных публикаций. Среди последних — работы, направленные на экологическую оценку состояния окружающей среды, главным образом Центрального и Василеостровского районов Санкт-Петербурга (Алимов и др., 1999; Слепян и др., 1997), а также работы, посвященные сравнительному анализу экологической ситуации 1990-х гг. в Санкт-Петербурге и в прибалтийских странах (Чистобаев и Семенова, 2012). Вопросам оценки влияния техногенных изменений городской среды на здоровье населения Санкт-Петербурга в многолетний период экономических изменений в научной литературе не уделялось должного внимания.

Цель данного исследования — анализ произошедших за последние 35 лет изменений качества атмосферного воздуха и оценка влияния этого процесса на актуальные и прогнозные показатели здоровья населения Санкт-Петербурга.

## Материал и методы исследования

При оценке качества атмосферного воздуха использованы данные, представленные в государственных докладах «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге» (Баев и Сорокин, 1997, 1999, 2000; Голубев и Сорокин, 2003, 2004, 2008–2012; Серебрицкий, 2016) и ста-

тистическом сборнике (Состояние окружающей среды..., 2010). В качестве актуальных показателей здоровья использованы данные государственной медицинской статистики по общей и первичной заболеваемости населения, приведенные в работе (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия..., 2016) и в отчетах формы № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания лечебного учреждения». Чтобы получить прогнозные показатели здоровья горожан, оценен неканцерогенный риск для здоровья населения при ингаляционном поступлении в организм приоритетных загрязняющих веществ по методу, изложенному в нормативе (Р 2.1.10.1920—04..., 2004). Данный метод позволяет оценить экологическое состояние окружающей человека среды, а также получить количественные характеристики потенциального и реального ущерба здоровью населения от техногенного загрязнения среды обитания. Одна из отличительных особенностей этого метода — сравнение содержания загрязняющих веществ не с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), а с их референтными (безопасными) концентрациями. Значения референтных концентраций, используемых при вычислении риска воздействия отдельных загрязняющих веществ, приведены в таблице.

Референтные концентрации некоторых загрязняющих веществ при условии их ингаляционного хронического поступления в организм человека (Р 2.1.10.1920—04..., 2004)

Загрязняющее вещество	Референтная концентрация, мг/м <sup>3</sup>	Критические органы/системы организма человека, отклик на воздействие
Оксид азота	0,06	Органы дыхания, кровь (образование MetHb)
Диоксид азота	0,04	То же
Оксид углерода	3,0	Кровь, сердечно-сосудистая система, центральная нервная система, развитие
Диоксид серы	0,05	Органы дыхания, смертность
Взвешенные частицы (PM <sub>2,5</sub> )	0,015	Органы дыхания, сердечно-сосудистая система, смертность, развитие
Взвешенные частицы (PM <sub>10</sub> )	0,05	Органы дыхания, смертность
Озон	0,03	Органы дыхания

Для оценки риска воздействия отдельных загрязняющих веществ на здоровье человека коэффициент опасности наступления указанного эффекта вычисляли по формуле

$$HQ = \frac{AC}{RfC}, \quad (1)$$

где  $HQ$  — коэффициент опасности для отдельного компонента (вещества) смеси воздействующих загрязняющих веществ;  $AC$  — средняя концентрация загрязня-

ющего вещества в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $RfC$  — референтная концентрация в воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

При одновременном поступлении в организм человека нескольких веществ одним и тем же путем индекс опасности развития неканцерогенных рисков рассчитывали по формуле

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n, \quad (2)$$

где  $HI$  — индекс опасности, характеризующий риск развития неканцерогенных эффектов при условии одновременного поступления нескольких загрязняющих веществ одним и тем же путем, например ингаляционным;  $HQ_n$  — индекс опасности для отдельного пути поступления или отдельного маршрута воздействия нескольких загрязняющих веществ.

Угрозу здоровью оценивали по неравенству

$$HQ (HI) > 1.$$

При выполнении условий неравенства признают наличие угрозы для здоровья населения, которая увеличивается с ростом коэффициента.

Индексы опасности возникновения тех или иных заболеваний рассчитываются одновременно с коэффициентами опасности для отдельных компонентов ( $HQ$ ): каждое вещество вызывает риск возникновения определенных заболеваний. В том случае, когда орган или система организма поражаются несколькими веществами, то индексы опасности развития неканцерогенных рисков суммируются.

## Результаты

На протяжении последних нескольких десятилетий объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух год от года существенно менялись. Так, например, в 1982 г. их общий объем составлял 897,5 тыс. т. Далее, вплоть до 1994 г., он снижался, достигнув в конце спада значения 199 тыс. т. В 1996 г. отмечалось увеличение (до 306 тыс. т), а в 2001 г. — снижение (до 231 тыс. т) объема выбросов загрязняющих веществ. В 2002–2008 гг. объемы выбросов колебались в пределах 235–284 тыс. т в год. В 2009 г. они резко увеличились до 625 тыс. т, а с 2010 по 2015 г. составляли 513–537 тыс. т в год (рис. 1). В целом по рассматриваемому показателю техногенной нагрузки на атмосферный воздух Санкт-Петербурга можно выделить период 1993–2008 гг., когда значительно (в среднем в 3 раза) снизился объем выбросов загрязняющих веществ, а также период с 2009 г., характеризующийся увеличением в среднем более чем в 2 раза общего объема выбросов.

Значительное снижение выбросов в 1990-е и 2000-е гг. объясняется спадом промышленного производства. По данным Федеральной службы государственной статистики, в Санкт-Петербурге наблюдалось уменьшение числа объектов со стационарными источниками загрязнения атмосферного воздуха. В 2000–2008 гг. их число уменьшилось в 2 раза (от 333 до 171).

Увеличение общего объема выбросов загрязняющих веществ после 2008 г. связано с автомобильным транспортом. Отметим, что в Санкт-Петербурге за последние 35 лет автомобильный транспорт чаще всего становился основным загрязнителем атмосферного воздуха. Так, например, в 1982 г. выбросы от стационарных

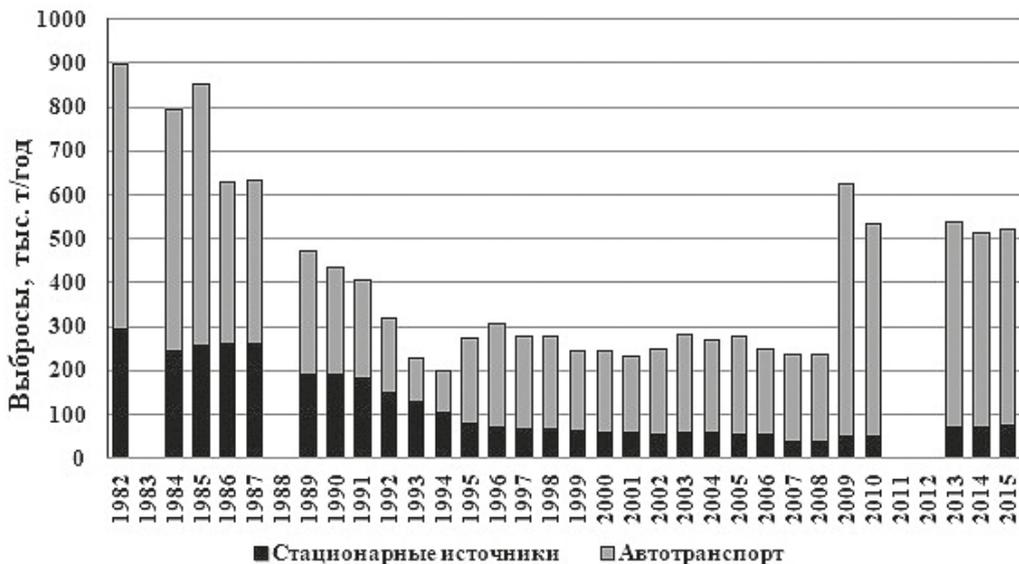


Рис. 1. Выбросы от стационарных источников и от автотранспорта в атмосферный воздух

источников составляли около 296 тыс. т, а от автотранспорта — 602 тыс. т (67 % общего объема выбросов). В 1987 г. эти значения несколько изменились, и доля выбросов автотранспорта уменьшилась до 59 %. В 1993 и 1994 гг. объем выбросов от автотранспорта еще больше снизился и составил соответственно 102 и 95 тыс. т в год (т. е. 44 и 48 % общего объема выбросов). Период 2009–2015 гг. характеризуется увеличением роли автомобильного транспорта как загрязнителя атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге. В эти годы его доля в общем объеме выбросов достигала 91 % (см. рис. 1).

Рассматривая химический состав загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города, отметим, что до середины 1990-х гг. основную долю выбросов от стационарных источников составлял диоксид серы. В 1987 г. его доля составила 33 %. На втором месте был оксид углерода (19 %), на третьем — диоксид азота (16 %), а на четвертом — углеводороды (8 %). Спустя 10 лет лидером среди загрязняющих атмосферный воздух веществ стал диоксид азота (28 %), а диоксид серы переместился на второе место (23 %). Наибольшее загрязнение воздуха отмечалось по группе суммирования, включающей в себя диоксиды азота и серы, оксид углерода и фенол. По этой группе уровни концентрации в жилых районах иногда достигали 15 ПДК.

При анализе содержания загрязняющих воздух веществ отметим, что в 2001–2015 гг. среднегодовое содержание диоксида азота колебалось в диапазоне 0,7–1,2 ПДК, а диоксида серы — в диапазоне 0,1–0,3 ПДК. По объемам выбросов оксидов азота в 2010 и 2015 гг. лидировал автомобильный транспорт (63 и 62 % соответственно), а по объемам выбросов диоксида серы — стационарные источники (75 и 51 % соответственно). Отметим, что в 2009–2010 гг. началась газификация предприятий тепловой энергетики (ТЭЦ) в городе. Перевод на газ в качестве топлива для ТЭЦ не только привел к сокращению эмиссий загрязняющих веществ (в основном диоксида серы), но и к увеличению соединений азота в выбросах ТЭЦ.

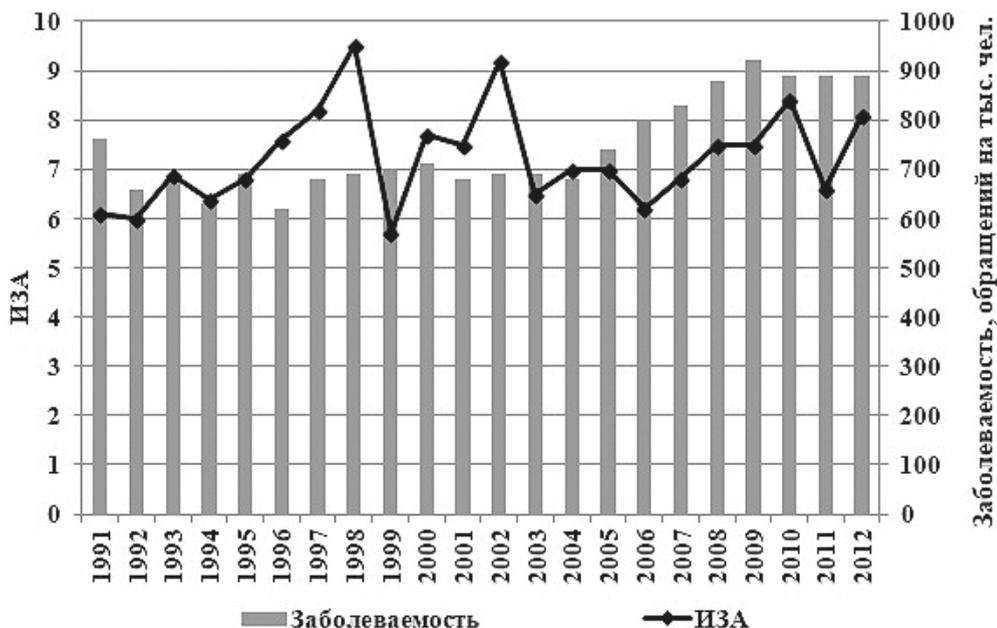


Рис. 2. Изменение первичной заболеваемости населения Санкт-Петербурга (число обращений на 1000 человек) и индекса загрязнения атмосферы (ИЗА)

В рассматриваемый 35-летний период значительно менялся и индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА):

- в 1982 и 1983 гг. он был равен 5,3;
- далее, вплоть до 1989 г., он колебался в пределах 2,7–4,2;
- в 1990, 1998 и 2002 гг. он повысился до 9,1, 9,7 и 9,2 соответственно.

В остальные годы периода 1991–2015 гг. значения ИЗА оставались в диапазоне 5,7–8,4 (рис. 2). Отметим, что существенное (не менее чем в 2 раза) увеличение объемов выбросов в 2009–2015 гг. не привело к заметным изменениям значений ИЗА (см. рис. 1 и 2).

Как известно, показатель ИЗА используется для оценки качества атмосферного воздуха. Считается, что он характеризует уровень хронического длительного загрязнения атмосферы. В соответствии с его значением установлена качественная характеристика загрязнения этого важного для человека компонента окружающей среды. Принято считать (Безуглая и Смирнова, 2008), что значения  $ИЗА \leq 5$  указывают на низкий уровень загрязнения атмосферного воздуха, при  $5 < ИЗА < 7$  загрязнение воздуха оценивается как повышенное, при  $ИЗА = 7 \dots 13$  уровень загрязнения высокий, а при  $ИЗА \geq 14$  — очень высокий. По результатам анализа межгодовой изменчивости ИЗА, проведенного на основе этой классификации, можно заключить, что в 1984–1989 гг. уровень загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге был низким, а в последующие годы — высоким.

Однако отметим, что использование ИЗА как показателя качества атмосферного воздуха достаточно условно. Предложенные количественные градации ИЗА

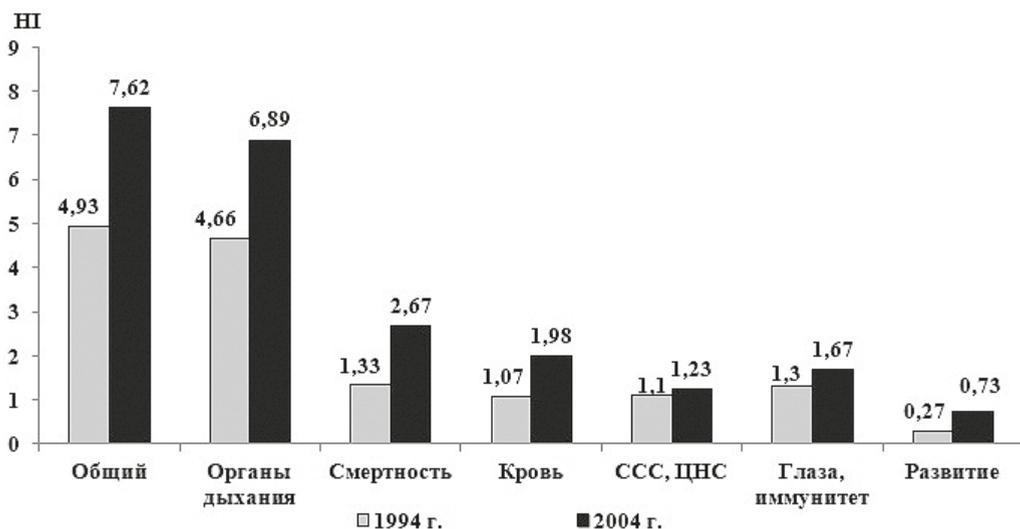


Рис. 3. Оценка неканцерогенного риска для жителей Санкт-Петербурга в 1994 и 2004 гг. по значениям индекса опасности HI

Здесь и на рис. 4 и 5: ССС — сердечно-сосудистая система, ЦНС — центральная нервная система

и их качественная оценка не основываются на строгих критериях и не учитывают эффекта суммирования при комплексном действии на организм человека нескольких загрязняющих веществ, а поэтому и не могут отражать степень влияния загрязнения воздуха на здоровье населения. Проведенное нами сравнение динамики первичной заболеваемости населения Санкт-Петербурга с межгодовой изменчивостью ИЗА подтверждает это положение (см. рис. 2). Например, в 2005–2009 гг. заболеваемость населения Санкт-Петербурга стремительно росла и за столь короткий период увеличилась в 1,4 раза. Что же касается ИЗА, его значения в эти годы существенно не менялись. В то же время в период, когда ИЗА достигал высоких значений (1998 и 2002 гг.), соответствующих высокому уровню загрязнения атмосферного воздуха, первичная заболеваемость населения практически не изменялась и колебалась в диапазоне 680–690 обращений на 1000 человек. Кроме того, корреляционный анализ показал, что между ИЗА и показателем первичной заболеваемости очень слабая связь (коэффициент корреляции  $r = 0,086$ ).

При оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения более показателен индекс опасности развития неканцерогенных рисков. Проведен сравнительный анализ данных по загрязнению атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга за 1994 и 2004 гг. Их выбор связан с тем, что после 1994 г. на протяжении 4 лет резко увеличились значения ИЗА при незначительных колебаниях показателя заболеваемости населения, а в течение 4 лет после 2004 г. не отмечено заметного повышения индекса ИЗА. Проведенный нами расчет неканцерогенного риска для здоровья горожан показал (рис. 3), что по сравнению с 1994 г. в 2004 г. существенно (в 1,6 раза) возросли общий индекс опасности и индексы опасности возникновения болезней органов дыхания (в 1,5 раза) и болезней крови (в 1,9 раза), а также индекс опасности смертельных случаев (в 2,0 раза). При этом по всем рассмотренным показателям отмечены высокие риски для здоровья, в несколько раз превышающие

допустимое значение (1,0). Особенно они высоки для общей заболеваемости, а также для болезней органов дыхания.

Полученные нами прогнозы риска для здоровья горожан подтверждаются реальными показателями заболеваемости населения. Например, с 2005 г. первичная заболеваемость населения Санкт-Петербурга действительно росла и к 2009 г. увеличилась в 1,4 раза. В этот период основной вклад в уровень общей заболеваемости населения вносили болезни органов дыхания (от 44 до 59%). Последние лидировали и при оценке первичной заболеваемости детей в возрасте до 14 лет (Санкт-Петербург в 2000 году..., 2001; Санкт-Петербург в 2009 году..., 2010).

Чтобы оценить влияние техногенной нагрузки на показатели здоровья населения, рассмотрены два административных района Санкт-Петербурга:

- 1) Центральный, где основной источник загрязнения атмосферного воздуха — автомобильный транспорт;
- 2) индустриальный Колпинский район.

На основе данных медицинской статистики установлено, что в 1994–1995 гг. указанные районы были близки по уровню заболеваний среди детей, однако в Центральном районе этот показатель был выше, чем в Колпинском (соответственно 1345 и 1309 обращений на 1000 детей). Среди других районов города по заболеваемости детского населения они занимали 10- и 11-е места соответственно.

В конце 1990-х и начале 2000-х гг. ситуация существенно изменилась: показатели детской заболеваемости в Колпинском и Центральном районах значительно выросли (до 1982 и 1958 обращений за год на 1000 детей соответственно), и лидером стал Колпинский район. Такие изменения можно было предвидеть, используя результаты расчетов неканцерогенного риска для здоровья населения этих районов. Чтобы прогнозировать заболеваемость населения, риски следует рассчитывать на основе данных по загрязнению атмосферного воздуха в предшествующие рассматриваемому периоду годы.

Мы оценили риск для здоровья населения, обусловленный хроническими воздействиями химических веществ, по данным о загрязнении атмосферного воздуха (среднегодовые концентрации и их верхние 95%-ные доверительные границы, установленные по среднесуточным концентрациям) в 1994 г. (рис. 4). Для этой оценки применяются среднегодовые концентрации химических веществ. Чтобы рассчитать их, как правило, используются данные трехлетних наблюдений, но не менее чем за 1 год. В Колпинском районе общий индекс опасности и индекс опасности для органов дыхания были выше, чем в Центральном районе в 1,1 раза, а смертность — в 1,6 раза. В этих районах показатели рисков превышали допустимые значения в 6–7 раз. По показателям реального уровня здоровья (детской заболеваемости) в 1997–2001 гг. эти районы были лидерами среди всех районов Санкт-Петербурга. Отметим, что в 1990–2000-е гг. по общим объемам выбросов загрязняющих веществ Колпинский район был на втором (после Кировского района) месте и лидировал по количеству загрязняющих веществ, поступающих от стационарных источников на одного жителя.

В 2010 и 2014 гг. по заболеваемости детей на первом месте в городе оказался Центральный район (2848 случаев на 1000 человек), а Колпинский район занял второе место (2437 случаев на 1000 человек). В структуре заболеваемости на первом месте были болезни органов дыхания (их удельный вес составлял 60–48%) —

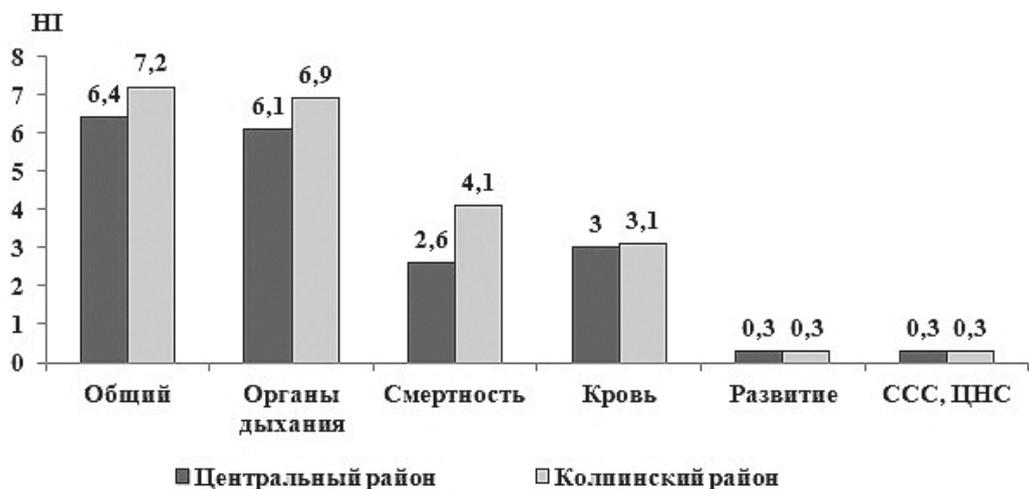


Рис. 4. Оценка неканцерогенного риска для жителей Центрального и Колпинского районов Санкт-Петербурга в 1994 г. по значениям индекса опасности НИ

главным образом острые респираторные инфекции верхних дыхательных путей. На втором месте были болезни нервной системы и органов чувств (17–18 %) — в первую очередь болезни глаза и его придаточного аппарата. Следует отметить, что по показателям первичной заболеваемости взрослого населения Центральный район был вторым (633 случаев на 1000 человек), а Колпинский район — третьим (590 случаев на 1000 человек) в городе.

Проведенная нами ранее (Мовчан и др., 2017) оценка содержания химических элементов в волосах младших школьников Колпинского района выявила избыточное содержание железа, меди, марганца, кальция и магния, а также дефицит хрома, кобальта, цинка, натрия и калия. При этом в биопробах подавляющего большинства (95–97 %) обследованных детей этого района содержание свинца, никеля и кадмия не превысило условного биологически допустимого уровня (Скальный, 2003). Судя по литературным данным (Детков и др., 2012), избыток железа и меди — характерная особенность элементного статуса детей всего Санкт-Петербурга. В их волосах обнаружено повышенное содержание и таких токсичных элементов, как свинец, никель и кадмий. Повышенное содержание свинца обнаружено в волосах детей Центрального района Санкт-Петербурга (Богданов и др., 2003). Считается, что повышенное содержание в организме свинца, никеля и кадмия приводит к возникновению болезней органов дыхания, эндокринной и нервной систем (Маймулов и др., 2005).

Чтобы выявить последствия отмеченного в 2010–2015 гг. уровня загрязнения атмосферного воздуха, мы рассчитали неканцерогенный риск для здоровья жителей разных административных районов Санкт-Петербурга при ингаляционном поступлении приоритетных загрязняющих веществ в организм человека. Анализ численных значений индексов опасности показал, что в Центральном районе можно ожидать наибольшую среди других районов заболеваемость населения, так как общий индекс опасности в среднем по рассмотренным годам составил 3,4. В Колпинском районе (заявшем по этому показателю 6-е место в городе) среднее значение общего индекса опасности равно 2,4, что указывает на высокие, хотя и меньшие,

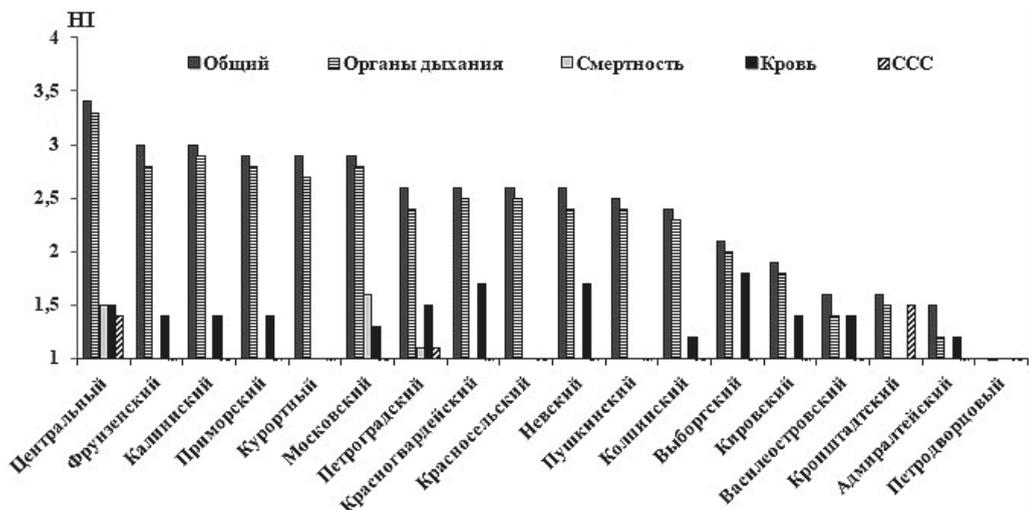


Рис. 5. Средние индексы опасности HI по основным нозологическим формам в административных районах Санкт-Петербурга за период 2010–2015 гг.

чем в Центральном районе, риски нарушения здоровья населения. Судя по расчетным данным, среди административных районов города только в Петродворцовом районе Санкт-Петербурга сохранялись благоприятные условия для здоровья населения — общий индекс опасности в 2010–2015 гг. был на уровне 0,7.

На остальных территориях города стабильно превышает граничное значение общего индекса опасности, что вызвано существенным загрязнением атмосферного воздуха. Вслед за Центральным районом по этому показателю лидируют Фрунзенский и Калининский районы, далее идут Приморский, Курортный, Московский, Петроградский, Красногвардейский, Красносельский и Невский, затем — Пушкинский, Колпинский и Выборгский. Последними в этом списке стоят Кировский, Василеостровский, Кронштадтский и Адмиралтейский районы, где общий индекс опасности равен 1,5–1,9 (рис. 5).

В зависимости от принадлежности к группе заболеваний средние индексы имеют значительные различия по районам города. Максимальные индексы опасности возникновения заболеваний органов дыхания при одновременном поступлении нескольких веществ отмечаются в Центральном, Калининском, Фрунзенском, Приморском и Московском районах. Максимальные риски болезней сердечно-сосудистой системы и риски смертельных случаев отмечены в Московском и Центральном районах. По всем категориям заболеваний только в Петродворцовом районе средние значения индексов опасности не превышают 1,0 и колеблются от 0,1 до 0,6.

Чтобы проверить точность полученных значений индекса опасности по районам города за 2010–2015 гг., рассчитан предел погрешности при доверительном уровне 95 %, значения которого составляют от 0,07 в Петродворцовом районе до 0,84 в Московском. При этом нижняя граница доверительного интервала выше единицы для всех районов, кроме Петродворцового.

## Заключение

Проведенные исследования показывают, что за последние 35 лет в Санкт-Петербурге экологическая ситуация существенно изменилась. Прежде всего обращает на себя внимание значительное увеличение доли выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта, что с 2009 г. привело по сравнению с периодом 1993–2008 гг. более чем к двукратному увеличению загрязнения атмосферного воздуха. С 2009 г. автотранспорт стал основным загрязнителем атмосферного воздуха диоксидом азота, а вклад автотранспорта достиг 91 % от общего объема выбросов стационарных источников и автотранспорта. За исследуемый период заметно возросла и заболеваемость населения. Особенно отчетливо это проявилось в 2005–2009 гг., когда первичная заболеваемость населения в Санкт-Петербурге увеличилась в 1,4 раза. В 2004 г. по сравнению с 1994 г. существенно вырос и другой показатель здоровья населения — неканцерогенный риск здоровью при ингаляционном поступлении в организм приоритетных загрязняющих веществ. Так, в индустриальном Колпинском районе, а также в Центральном районе Санкт-Петербурга (где основной источник загрязнения атмосферного воздуха — автомобильный транспорт) показатели рисков для здоровья населения превышают допустимые значения в 6–7 раз. В этих административных районах города увеличился общий индекс опасности и индексы опасности возникновения болезней органов дыхания, болезней крови, а также индекс опасности смертельных случаев.

За рассмотренный период в административных районах Санкт-Петербурга экологическая ситуация существенно изменилась и по показателям актуальной заболеваемости населения. В частности, с конца 1990-х гг. среди лидеров по первичной заболеваемости детского населения в городе были Центральный и Колпинский районы. В середине 1990-х гг. по этому показателю они занимали 10-е и 11-е места. Отметим, что у подавляющего большинства обследованных детей Колпинского района обнаружено повышенное содержание железа, меди, марганца, кальция и магния в волосах. В то же время содержание свинца, никеля и кадмия (элементов с высокой концентрацией в волосах детей всего Санкт-Петербурга) было меньше условных биологически допустимых уровней. В отличие от Колпинского, в Центральном районе, так же как и в Санкт-Петербурге в целом, характерной особенностью элементного статуса детей является повышенное содержание свинца в волосах. По-видимому, накопление этого металла в организмах детей является следствием многолетнего загрязнения атмосферного воздуха Центрального района автомобильным транспортом в условиях плотной городской застройки. Полученные данные по индексам опасности развития неканцерогенных рисков для здоровья населения позволяют предположить, что наибольшую заболеваемость населения, вызванную загрязнением атмосферного воздуха, следует ожидать в Центральном, Фрунзенском и Калининском районах. В зону высокого риска болезней органов дыхания входят Центральный, Калининский, Фрунзенский, Приморский и Московский районы. Риск возникновения заболеваний сердечно-сосудистой системы наиболее велик в Московском и Центральном районах. Наименьший риск развития неканцерогенных эффектов при комплексном воздействии загрязняющих атмосферный воздух веществ — в Петродворцовом районе.

Результаты проведенных исследований указывают на необходимость проведения мероприятий по снижению техногенной (транспортной) нагрузки на атмос-

ферный воздух в административных районах Санкт-Петербурга с высокими показателями неканцерогенного риска для здоровья. В первую очередь это следует сделать в Центральном районе, где плотная городская планировка и большие потоки автомобильного транспорта в наибольшей степени отрицательно влияют на качество атмосферного воздуха и на здоровье населения. Отметим, что по уровню загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота (основным источником которого является автотранспорт) Центральный район уже на протяжении нескольких десятилетий — один из лидеров в городе. Так, по данным за 1996 г., средняя годовая концентрация этого загрязняющего вещества составляла 2,6 ПДК, далее шли Колпинский, Калининский и Фрунзенский районы (2,3, 1,8 и 1,5 ПДК соответственно). Наибольшая среди административных районов Санкт-Петербурга среднегодовая концентрация диоксида азота в атмосферном воздухе отмечена в Центральном районе и в 2011 г., за ним следуют Кировский, Фрунзенский и Калининский районы. При этом Центральный район выделяется и по числу жилых зданий, попавших в зону воздействия диоксида азота. В эту зону входят 1877 зданий, т. е. 35 % значения этого показателя по всему Санкт-Петербургу. На втором месте оказался Фрунзенский район (522 здания), а далее — Кировский и Московский районы (490 и 352 жилых здания соответственно).

#### Литература

- Алимов, А. С., Дмитриев, В. В., Флоринская, Т. М., Хованов, Н. В., Чистобаев, А. И., 1999. Интегральная оценка экологического состояния и качества среды городских территорий. Изд. СПбНЦ РАН, Санкт-Петербург.
- Баев, А. С., Сорокин, Н. Д., 1997. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1996 г.: справочно-аналитический обзор. Изд. НИИ химии СПбГУ, Санкт-Петербург.
- Баев, А. С., Сорокин, Н. Д., 1999. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 1998 году. Сезам, Санкт-Петербург.
- Баев, А. С., Сорокин, Н. Д., 2000. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге за 1980–1999 годы. Сезам, Санкт-Петербург.
- Безуглая, Э. Ю., Смирнова, И. В., 2008. Воздух городов и его изменения. Астрион, Санкт-Петербург.
- Богданов, Х. У., Харченко, И. Г., Бондаренко, М. Л., Грибанова А. Н., 2003. Биомониторинг — как составная часть социально-гигиенического мониторинга. Опыт организации биотестирования. Здоровье населения и среда обитания 9, 14–19.
- Голубев, Д. А., Сорокин, Н. Д., 2003. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2002 году. Сезам, Санкт-Петербург.
- Голубев, Д. А., Сорокин, Н. Д., 2004. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2003 году. Сезам, Санкт-Петербург.
- Голубев, Д. А., Сорокин, Н. Д., 2008. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 году. Сезам, Санкт-Петербург.
- Голубев, Д. А., Сорокин, Н. Д., 2009. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2008 году. Сезам, Санкт-Петербург.
- Голубев, Д. А., Сорокин, Н. Д., 2010. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2009 году. Сезам, Санкт-Петербург.
- Голубев, Д. А., Сорокин, Н. Д., 2012. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2011 году. Сезам-принт, Санкт-Петербург.
- Детков, В. Ю., Скальный, А. В., Ломакин, Ю. В., 2012. Содержание эссенциальных микроэлементов в волосах детей, проживающих в Санкт-Петербурге. Микроэлементы в медицине 13 (3), 41–44.
- Маймулов, В. Г., Якубова, И. Ш., Чернякина, Т. С., Ловцевич, С. М., Кузмичев, Ю. Г., Поляшова, А. С., Скальный, А. В., 2005. Возрастно-половые различия микроэлементного дисбаланса у детей Санкт-Петербурга. Микроэлементы в медицине. Материалы I Съезда РОСМЭМ 6 (1), 36–38.

- Мовчан, В. Н., Зубкова, П. С., Питулько, В. М., 2017. Формирование критериальной базы экологической оценки состояния урбанизированных территорий. Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 62(3), 266–279. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2017.304>
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Санкт-Петербурге в 2015 году, 2016. URL: [http://78.rospotrebnadzor.ru/c/document\\_library/get\\_file?uuid=7c934278-48c7-4d0e-b484-30aae21c9249&groupId=935484](http://78.rospotrebnadzor.ru/c/document_library/get_file?uuid=7c934278-48c7-4d0e-b484-30aae21c9249&groupId=935484) (дата обращения: 05.12.2017).
- Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, 2004. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/r2110192004rukovodstvopoo.html> (дата обращения: 05.11.2017)
- Санкт-Петербург в 2000 году. Статистический ежегодник, 2001. Петростат, Санкт-Петербург.
- Санкт-Петербург в 2009 году. Статистический ежегодник, 2010. Петростат, Санкт-Петербург.
- Серебрицкий, И. А., 2016. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2015 году. Сезам-принт, Санкт-Петербург.
- Скальный, А. В., 2003. Референтные значения концентраций химических элементов в волосах, полученных методом ИСП-АЭС (АНО Центр Биотической Медицины). Микроэлементы в медицине 4 (1), 55–56.
- Слепян, Э. И., Волошко, Л. Н., Дзюба, О. Ф., Крупкина, Л. И., Маулини, И. А., Ривкина, О. А., Смекалова, Т. Н., Шаврина, И. И., Гудкова, И. Я., Солнцева, М. П., Козминский, Е. В., Ананина, Р. П., 1997. Растительный мир Невского проспекта и природная среда исторического центра Санкт-Петербурга. Жизнь и безопасность 2–3, 406–453.
- Состояние окружающей среды Санкт-Петербурга в 2009 году. Статистический сборник, 2010. Петростат, Санкт-Петербург.
- Худолей, В. В., 1998. Состояние и прогноз здоровья населения Санкт-Петербурга в изменяющихся экологических условиях: сборник. Изд-во НИИ химии СПбГУ, Санкт-Петербург.
- Чистобаев, А. И., Семенова, З. А., 2012. Состояние окружающей среды как фактор воздействия на здоровье населения Санкт-Петербурга. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта 1, 80–90.

Статья поступила в редакцию 24 января 2018 г.

Статья рекомендована в печать 9 апреля 2018 г.

#### Контактная информация:

Мовчан Владислав Николаевич — [v.movchan@spbu.ru](mailto:v.movchan@spbu.ru)

Зубкова Полина Сергеевна — [p.zubkova@spbu.ru](mailto:p.zubkova@spbu.ru)

Калинина Ирина Капитоновна — [irenaest11@gmail.com](mailto:irenaest11@gmail.com)

Кузнецова Мария Андреевна — [markuznetsovaia@gmail.com](mailto:markuznetsovaia@gmail.com)

Шейнерман Надежда Абрамовна — [nsheiner@mail.ru](mailto:nsheiner@mail.ru)

## Assessment and forecast of the ecological situation in St. Petersburg in terms of air pollution and public health indicators

*Vladislav N. Movchan<sup>1</sup>, Polina S. Zubkova<sup>1</sup>, Irina K. Kalinina<sup>2</sup>, Mariya A. Kuznetsova<sup>1</sup>, Nadezhda A. Sheinerman<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

<sup>2</sup> Scientific-Research Centre for Ecological Safety RAS, 18, Korpussnaya ul., St. Petersburg, 197110, Russian Federation

**For citation:** Movchan V.N., Zubkova P.S., Kalinina I.K., Kuznetsova M.A., Sheinerman N.A. Assessment and forecast of the ecological situation in St. Petersburg in terms of air pollution and public health indicators. Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences, 2018, vol. 63, issue 2, pp. 178–193. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.204>

Changes in the ecological situation over the last 35 years, corresponding to the period of economic transformations in Russia, were considered using the data of state statistics on atmospheric air pollution and morbidity of the population in St. Petersburg. Two stages of changes in anthropogenic impact on the environment were highlighted. During the first stage (1993–2008) the total volume of pollutant emissions in the atmospheric air decreased threefold due to the decline in industrial production in the city. The second stage (from the beginning of 2009) is characterized by an increase in the total amount of emissions more than twofold, caused by a significant growth the role of vehicles as a polluter of the air. During the period under review, the incidence of the population has increased significantly too. This manifested itself especially clearly in the period 2005–2009 when the primary incidence of the population in St. Petersburg increased by 1,4 times. During the period under review, there were significant changes in the incidence of the population in the districts of St. Petersburg. It was demonstrated that in the industrial Kolpinsky and in the Tsentralny districts the primary morbidity of the child population rose sharply in the late 1990s and, according to this indicator, these districts moved from the 10<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup> places to the first places in the city. Based on the results of the non-carcinogenic health risks assessment associated with the inhalation of priority pollutants into the body, it was concluded that the greatest incidence of the population among the administrative districts of the city could be expected in the Tsentralny district, and the Kolpinsky district will move to the sixth place on this indicator. The lowest risk of development of non-carcinogenic effects during the combined effect of atmospheric pollutants is in the Petrodvortsovy district. It is pointed out the need to take measures to reduce the man-caused (transport) load on the urban environment in districts with high rates of non-carcinogenic health risks. The adoption of priority measures in the Tsentralny District of St. Petersburg is justified.

*Keywords:* air pollution, morbidity of the population, health risk assessment.

## References

- Alimov, A. S., Dmitriyev, V. V., Florinskaya, T. M., Khovanov, N. V., Chistobayev, A. I., 1999. Integral'naiia otsenka ekologicheskogo sostoiianiia i kachestva sredey gorodskikh territorii [Integrated assessment of the environmental condition and quality of environment in urban areas]. SPbNTS RAN, St. Petersburg, 253. (In Russian)
- Bayev, A. S., Sorokin, N. D., 1997. Ekologicheskaiia obstanovka v Sankt-Peterburge i Leningradskoi oblasti v 1996 g. Spravochno-analiticheskii obzor [The ecological situation in St. Petersburg and the Leningrad Region in 1996. Reference and analytical review]. NII Khimii SPbGU, St. Petersburg, 516. (In Russian)
- Bayev, A. S., Sorokin, N. D., 1999. Okhrana okruzhaiushchei sredey, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 1998 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 1998]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)
- Bayev, A. S., Sorokin, N. D., 2000. Okhrana okruzhaiushchei sredey, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge za 1980–1999 gody [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 1980–1999]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)
- Bezuglaya, E. Yu., Smirnova, I. V., 2008. Vozdukh gorodov i ego izmeneniia [The air of cities and its changes]. Asterion, St. Petersburg. (In Russian)
- Bogdanov, Kh. U., Kharchenko, I. G., Bondarenko, M. L., Gribanova, A. N., 2003. Biomonitoring — kak sostavnaia chast' sotsial'no-gigienicheskogo monitoringa. Opyt organizatsii biotestirovaniia [Biomonitoring — as an integral part of socio-hygienic monitoring. Experience in organizing biotesting]. Zdorov'e naseleniia i sreda obitaniia [Health of the population and habitat] 9, 14–19. (In Russian)
- Golubev, D. A., Sorokin, N. D., 2003. Okhrana okruzhaiushchei sredey, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2002 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 2002]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)

- Golubev, D. A., Sorokin, N. D., 2004. Okhrana okruzhaiushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2003 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 2002]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)
- Golubev, D. A., Sorokin, N. D., 2008. Okhrana okruzhaiushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2007 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 2007]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)
- Golubev, D. A., Sorokin, N. D., 2009. Okhrana okruzhaiushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2008 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 2008]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)
- Golubev, D. A., Sorokin, N. D., 2010. Okhrana okruzhaiushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2009 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 2009]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)
- Golubev, D. A., Sorokin, N. D., 2012. Okhrana okruzhaiushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2011 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 2011]. Sezam, St. Petersburg. (In Russian)
- Detkov, V. Yu., Skalnyy, A. V., Lomakin, Yu. V., 2012. Soderzhanie essentsial'nykh mikroelementov v volosakh detei, prozhivaiushchikh v Sankt-Peterburge [Essential trace elements in the hair of children from Saint Petersburg], in: Mikroelementy v meditsine [Microelements in medicine] 13 (3), 41–44. (In Russian)
- Maymulov, V. G., Yakubova, I. Sh., Chernyakina, T. S., Lovtsevich, S. M., Kuzmichev, Yu. G., Polyashova, A. S., Skalnyy, A. V., 2005. Vozrastno-polovye razlichia mikroelementnogo disbalansa u detei Sankt-Peterburga [Age-sex related differences of microelement disbalance in Saint Petersburg children], in: Mikroelementy v meditsine [Microelements in medicine]. Materialy I S'ezda ROSMEM 6 (1), 36–38. (In Russian)
- Movchan, V. N., Zubkova, P. S., Pitul'ko, V. M., 2017. Formirovanie kriterial'noi bazy ekologicheskoi otsenki sostoianii urbanizirovannykh territorii [Formation of the criterial base for ecological assessment of state of urbanized territories]. Vestnik SPbSU 7, 3, 266–279. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2017.304> (In Russian)
- O sostoianii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchii naseleniia v Sankt-Peterburge v 2015 godu, 2016 [State report "About the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in St. Petersburg in 2015"]. URL: [http://78.rospotrebнадзора.ru/c/document\\_library/get\\_file?uuid=7c934278-48c7-4d0e-b484-30aae21c9249&groupId=935484](http://78.rospotrebнадзора.ru/c/document_library/get_file?uuid=7c934278-48c7-4d0e-b484-30aae21c9249&groupId=935484) (accessed 05.12.2017). (In Russian)
- P 2.1.10.1920–04. Rukovodstvo po otsenke riska dlia zdorov'ia naseleniia pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv, zagriazniaiushchikh okruzhaiushchuiu sredu [G 2.1.10.1920–04. The guidelines of human health risk assessment from environmental chemicals], 2004. Moscow. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/r2110192004rukovodstvopoo.html> (accessed 05.11.2017). (In Russian)
- Sankt-Peterburg v 2000 godu. Statisticheskii ezhegodnik [St. Petersburg in 2000. Statistical Yearbook], 2001. Petrostat, St. Petersburg. (In Russian)
- Sankt-Peterburg v 2009 godu. Statisticheskii ezhegodnik [St. Petersburg in 2009. Statistical Yearbook], 2010. Petrostat, St. Petersburg. (In Russian)
- Serebritskiy, I. A., 2016. Okhrana okruzhaiushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2015 godu [Environmental protection, nature management and environmental safety in St. Petersburg in 2015]. Sezam-print, St. Petersburg. (In Russian)
- Slepian, E. I., Voloshko, L. N., Dziuba, O. F., Krupkina, L. I., Maulini, I. A., Rivkina, O. A., Smekalova, T. N., Shavrina, I. I., Gudkova, I. Ia., Solntseva, M. P., Kozminskii, E. V., Ananina, R. P., 1997. Rastitel'nyi mir Nevskogo prospekta i prirodnaia sreda istoricheskogo tsentra Sankt-Peterburga [The vegetation world of Nevsky Prospekt and the natural environment of the historic center of Saint Petersburg]. Zhizn' i bezopasnost' [Life and safety] 2–3, 406–453. (In Russian)
- Skalnyy A. V., 2003. Referentnye znacheniiia kontsentratsii khimicheskikh elementov v volosakh, poluchennykh metodom ISP-AES (ANO Tsentr Bioticheskoi Meditsiny) [Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES method in ANO Centre for biotic medicine], in: Mikroelementy v meditsine [Microelements in medicine] 4 (1), 55–56. (In Russian)
- Sostoianie okruzhaiushchei sredy Sankt-Peterburga v 2009 godu. Statisticheskii sbornik, 2010. [The state of the environment in St. Petersburg in 2009. Statistical collection]. Petrostat, St. Petersburg. (In Russian)
- Khudoley, V. V., 1998. Sostoianie i prognoz zdorov'ia naseleniia Sankt-Peterburga v izmeniaiushchikhsia ekologicheskikh usloviakh. Sbornik. [The state and forecast of the health of the population of St. Pe-

tersburg in changing environmental conditions: Collection], NII Khimii SPbGU, St. Petersburg. (In Russian)

Chistobayev, A.I., Semenova, Z.A., 2012. Sostoianie okruzhaiushchei sredy kak faktor vozdeistviia na zdorov'e naseleniia Sankt-Peterburga [The state of the environment as a factor in the health effects of the population of St. Petersburg], in: Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta 1, 80–90. (In Russian)

Author's information:

*Vladislav N. Movchan* — v.movchan@spbu.ru

*Polina S. Zubkova* — p.zubkova@spbu.ru

*Irina K. Kalinina* — irenaest11@gmail.com

*Mariya A. Kuznetsova* — markuznetsovaia@gmail.com

*Nadezhda A. Sheinerman* — nsheiner@mail.ru