

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

© 2016 В.В. Заболотских, А.В. Васильев, Ю.П. Терещенко, В.А. Васильев

Самарский научный центр РАН

Статья поступила в редакцию 09.11.2016

Авторами разработана методология оценки рисков здоровью человека с учётом сочетанного воздействия на население урбанизированных территорий физических и химических факторов и использованием информационных технологий и программного обеспечения. Разработанные авторами информационно-аналитические программы позволяют осуществлять обработку и оценку результатов измерений физических и химических загрязнений окружающей среды и проводить расчёты интегральных показателей их сочетанного воздействия с учётом синергетических эффектов, превышающих простое суммирование воздействий.

Ключевые слова: риски для здоровья населения, экологическое состояние урбанизированных территорий, комплексный подход к оценке рисков, химические и физические факторы, синергетические эффекты.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ р_поволжье_а, проект № 15-48-02629

На современном этапе все более актуальным становится использование **методологии анализа риска для здоровья населения** в системе социально-гигиенического и комплексного экологического мониторинга с целью обеспечения санитарно-эпидемиологического и экологического благополучия населения на урбанизированных территориях [1, 6, 7, 9, 10]. Методология оценки риска в настоящее время является эффективным аналитическим инструментом для характеристики влияния факторов окружающей среды на состояние здоровья населения. Кроме того, она стала одним из важнейших инструментов совершенствования системы контроля и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Оценка риска позволяет получить соотношение между определенной концентрацией вещества, загрязняющего окружающую среду, и вероятностью негативного воздействия на здоровье человека.

По данным экспертов ВОЗ основной вклад в уровни канцерогенного риска для здоровья жителей урбанизированных территорий вносит загрязнение воздуха бензином (66,4%), бензолом (24,5%), хромом (4,8%) и этилбензолом

Заболотских Влада Валентиновна, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник отдела инженерной экологии и экологического мониторинга.

E-mail: Vlada310308@mail.ru

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, начальник отдела инженерной экологии и экологического мониторинга. E-mail: avassil62@mail.ru

Терещенко Юлия Петровна, инженер отдела инженерной экологии и экологического мониторинга.

E-mail: ulchik1989@yandex.ru

Васильев Владислав Андреевич, инженер отдела инженерной экологии и экологического мониторинга.

E-mail: vladvas93@mail.ru

(3,0%). Критическими органами при хроническом ингаляционном воздействии бензола являются система крови и кроветворных органов, красный костный мозг, центральная нервная система, иммунная система, сердечно-сосудистая система, желудочно-кишечный тракт и репродуктивная система, для 3,4-бенз(а)пирена – иммунная система, а также эти вещества являются канцерогенно опасными и отнесены по классификации МАИР к группам 1 и 2А, соответственно [1,7,8].

Значительная роль в развитии патологии дыхательных путей у жителей крупных городов принадлежит аэрополлютантам. Так, к приоритетным токсикантам, наиболее часто встречающимся в атмосферном воздухе Тольятти и наиболее опасным для здоровья жителей города относятся: формальдегид, бенз(а)пирен, аммиак, диоксид азота, фтористый водород, диоксид серы, а среди заболеваний наиболее распространены болезни органов дыхания, такие как ОРЗ, бронхиты, синуситы, ларинготрахеиты [5,6].

В настоящее время наметилась новая тенденция в области экологической безопасности, когда прежняя концепция экологической безопасности, которая основывалась на критериях ограничения содержания вредных химических веществ (ПДК, ПДВ, ПДС), уступает место **концепции экологического риска**.

Имеющийся порядок регламентации состояния окружающей среды, который базируется на санитарно-гигиенических нормативах недостаточно эффективен. Реализуемая сегодня экологическая оценка окружающей среды урбанизированных территорий включает в основном анализ отдельных поллютантов. К настоящему времени разработаны стандарты качества атмос-

ферного воздуха по 1080 химическим веществам, питьевой воды – по 1379, воды рыбохозяйственных водоёмов – по 972, а рекреационных водных источников – по 14 соединениям. При этом не учитываются эффекты совместного воздействия лимитирующих факторов.

Очевидно, что человек может подвергаться воздействию не одного, а сразу нескольких загрязняющих веществ. В реальных условиях на биологические объекты действуют одновременно разные неблагоприятные факторы окружающей среды.

С точки зрения создания условий безопасности для человека и природной среды в условиях города с повышенной антропогенной нагрузкой, необходима оценка интегрального воздействия факторов различной природы на человека и экосистемы. В условиях промышленного города к таким факторам, в первую очередь следует относить химическое и физическое загрязнение окружающей среды и влияние этих факторов на здоровье человека. В связи с этим в современной системе обеспечения экологической безопасности наметился и активно развивается новый подход – **комплексная оценка экологических рисков**.

Как известно, факторы риска – это условия окружающей среды, существенно повышающие вероятность заболеваний населения. Оценка риска при должном исполнении – объективный путь оценки потенциального воздействия техногенного фактора на здоровье человека, экосистемы и окружающую среду в целом.

Комплексная оценка экологических рисков от химических загрязняющих веществ, предполагает необходимость учитывать **возможность кумуляции** загрязняющих веществ, т. е. постепенное накопление в экосистеме или в организме человека какого-либо вредного вещества, вызывающее заболевание и даже гибель, а также разрушение экосистемы. Другой эффект – **суммация**, сложение малых количеств различных вредных веществ. Такие количества веществ сами по себе, в отдельности могут и не представлять угрозы для здоровья человека или экосистемы, но в сумме они становятся опасными вследствие взаимного усиления эффектов (синергетического действия).

Основное направление в комплексной оценке экологического риска в настоящее время – это исследование механизмов одновременного **сочетанного** действия комплекса факторов различной природы (химических, физических, биологических) на организм человека.

В настоящее время одной из актуальных проблем гигиенической науки является разработка методологических подходов и критериев гигиенической донозологической диагностики факторов риска здоровью населения. Задачами гигиенической донозологической диагностики является определение и оценка источников

риска. Как известно, возникновение и развитие многих патологических состояний зависит в большой степени от качества окружающей среды. В этих условиях научная разработка и внедрение методологии и методических подходов гигиенической донозологической диагностики с учетом региональных экологических особенностей приобретают особую актуальность. Состояние здоровья детей является индикатором качества окружающей среды в связи с тем, что растущий организм ребенка с его интенсивным обменом веществ и морфофункциональными особенностями обуславливает наибольшую чувствительность и восприимчивость к воздействию негативных экологических факторов. В связи с этим результаты изучения состояния здоровья детей рассматриваются в качестве достоверного показателя среди других критериев гигиенической оценки степени риска развития экологических патологических состояний. Особое внимание уделяется донозологическим, морфофункциональным показателям, показателям адаптационных возможностей детского организма, а также динамике изменений их под воздействием окружающей среды. Высокой эффективностью гигиенической донозологической диагностики обладают показатели морфофункциональных особенностей детей, биохимического и иммунологического статуса, параметры тканевого гомеостаза, микроэкологической системы кишечника, а также состояния одонтогенной и сердечно-сосудистой систем, наличие различных видов аллергии [1, 2, 7, 8].

Существует ещё одна серьёзная проблема достоверной оценки рисков здоровью населения урбанизированных территорий. Обычно применяемая в настоящее время система экологического контроля состояния окружающей среды не всегда позволяет точно определить степень экологической опасности от основных загрязняющих веществ и других вредных факторов промышленных городов. Эта система контроля не отражает уровня техногенного воздействия на население и биогеоценозы, не показывает реакции живых организмов на это воздействие, не учитывает совместное сочетанное воздействие на человека факторов различной природы (физических, химических, биологических). Проведение соответствующих исследований необходимо для более точной и полной оценки экологической безопасности населения урбанизированных территорий.

Анализ риска ставит своей целью выбор оптимальных в данной конкретной ситуации путей его устранения или снижения и включает три взаимосвязанных элемента: оценка риска для здоровья, управление риском и информирование о риске [1, 2].

На предварительном этапе целесообразно разработать концептуальную модель территории, представляющую собой графическое или описа-

тельное представление возможных взаимосвязей между источниками загрязнения окружающей среды, маршрутами воздействия.

При оценке риска по полной схеме используются результаты мониторинга концентраций химических веществ в анализируемых объектах окружающей среды и/или данные, полученные на основе моделирования рассеивания загрязнений за период не менее 3-5 лет [1,2,3]. Полная оценка риска, однако, является очень детальным исследованием всех источников и путей воздействия, анализом выбираемых вариантов применительно к конкретному месту. Это утомительная и затратная процедура. Поэтому обычно оценка выполняется поэтапно, шаг за шагом, так что после каждого этапа можно скорректировать действия, отбросить малосущественные или чрезмерно дорогостоящие варианты, оставив приоритетные, изменить содержание и порядок работ, оценить наиболее важные риски. Чем меньше воздействие на окружающую среду техногенной деятельности, тем меньший объем работ выполняется при оценке риска [1,2].

Комплексная оценка экологического риска состоит из нескольких основных этапов:

- сбор и анализ данных об источниках, составе и условиях загрязнения на исследуемой территории.
- выбор приоритетных для исследования химических веществ;
- мониторинг объектов окружающей среды;
- моделирование распределения химических веществ в окружающей среде;
- определение характеристики концентраций в точке воздействия;
- оценка риска канцерогенных и неканцерогенных эффектов (при острых и хронических воздействиях);
- оценка риска при многосредовых, комбинированных и комплексных воздействиях факторов различной природы.

В практической работе по оценке экологического риска большую помощь оказывают компьютерные программы, специально разработанные для этой цели. Кроме упрощения и автоматизации вычислений при расчетах, такие программы в большинстве случаев содержат базы данных с токсикологическими характеристиками загрязняющих веществ и описаниями особенностей их воздействия, что совершенно необходимо при решении такой сложной и ответственной задачи, как оценка риска.

Информационно-аналитические, прогнозируемые и управляющие компьютерные системы позволяют включать полную информацию и опираться на широкую базу данных о всех основных и вспомогательных факторах, влияющих на здоровье человека и состояние окружающей среды. Только наличие исчерпывающей картины по фактическому состоянию окружающей среды,

опирающейся на достоверные результаты, позволяют осуществлять такие расчеты и прогнозы. Имеющиеся на предприятиях проекты ПДВ (ПДС) и экологические паспорта отражают желаемую, но далеко не фактическую ситуацию. Обилие информации в таких проектах не позволяет провести серьезный анализ на уровне одного предприятия, не говоря уже о городе в целом.

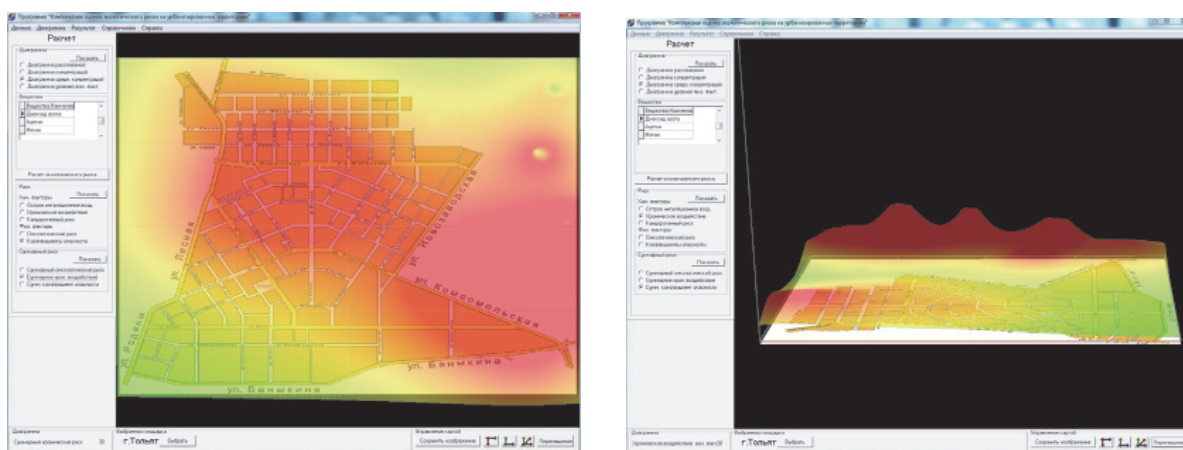
На базе научно-исследовательской лаборатории «Виброакустика, экология и безопасность жизнедеятельности» (НИЛ-9) Тольяттинского государственного университета по результатам анализа научно-технической литературы и проведения патентного поиска было разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять спектр математических расчетов в области экологического моделирования и оценки риска здоровью населения селитебных территорий. Для реализации поставленных задач использовались утвержденные методики и руководства по расчету экологических рисков.

Особенностью и новизной разработанной автоматизированной программы явилось то, она позволяет проводить **комплексную оценку рисков** и учитывает **сочетанное воздействие приоритетных физических и химических факторов** на организм человека, с учётом возможных токсических эффектов. Разработанное специально для этих целей программное обеспечение позволяет осуществлять автоматизированную обработку и оценку результатов измерений различных физических и химических воздействий и проводить расчёты интегральных показателей и сочетанного воздействия факторов различной природы. В программной системе, в качестве исходной составляющей, выступает графическая двумерная карта исследуемой территории в точно определенном масштабе.

Программное обеспечение позволяет определить наиболее опасные места с точки зрения вероятности развития хронических заболеваний от комплексного воздействия химических и физических факторов (рис. 1).

На стадии проектирования программы разработаны алгоритмы работы программы и схема пользовательского интерфейса. Реализация программы осуществлялась на языке высокого уровня Delphi. Кроме того, данная программа обладает возможностью просмотра справочной информации, необходимой для знакомства со спецификой решаемых задач. Программа имеет эргономичный интерфейс, содержит средства визуализации данных и результатов, позволяющие структурировать расчетные и исходные данные с последующим выводом на печать.

На модуль программы «Sound City Test» получено свидетельство об официальной регистрации №206611861. Авторские свидетельства о государственной регистрации программ получены также на программное обеспечение «Monitoring



А

Б

Рис. 1. Двухмерное (а) и трехмерное (б) представление результатов оценки экологического риска с помощью разработанного программного обеспечения. Область зеленого цвета – норма, желтого цвета – риск, красного цвета – угроза

of chemical pollutions (MCP) № 2012614443 и программу «Комплексная оценка экологического риска» № 2013619171 [6].

В процессе реализации и апробации разработанного программного обеспечения нами проводится комплексная оценка экологического риска городского округа Тольятти с помощью математического моделирования. Всесторонняя оценка риска воздействия на здоровье человека всех потенциально вредных веществ хотя и желательна, но реально неосуществима из-за большого объема исследования и требуемых материальных ресурсов, а также из-за отсутствия адекватных данных об уровнях воздействия и потенциальной опасности ряда химических соединений. В связи с этим анализ обычно проводится на основе детального исследования ограниченного числа приоритетных (индикаторных) веществ, которые наилучшим образом характеризуют реальный риск для здоровья населения, проживающего на исследуемой территории. Существенное сужение перечня анализируемых химических соединений может резко исказить итоговые величины

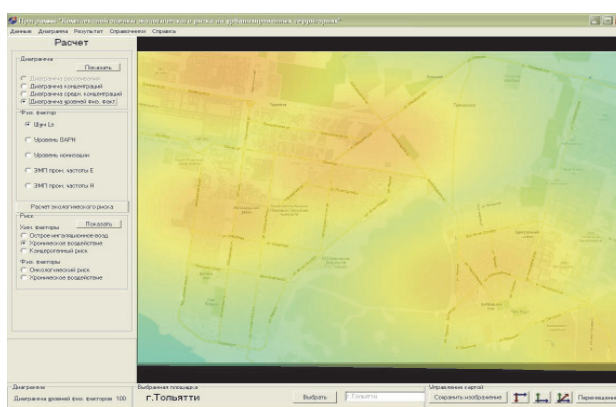
рисков, что неминуемо приведет к неверным результатам при ранжировании источников риска. В связи с этим целесообразно провести разовые измерения концентраций с последующим расчетом уровней риска.

В качестве приоритетных загрязняющих веществ были выделены: формальдегид, диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, метан, ацетон, стирол, бенз(а)пирен. Совместно с оценкой химического загрязнения проведен анализ влияния следующих физических факторов: шум, вибрация, ионизирующие излучения, электромагнитные излучения промышленного и радиочастотного диапазона, радон. Примеры картографирования территорий по результатам исследований в Центральном районе города представлены на рисунке 1.

Применение автоматизированной системы позволило получить данные вероятностного развития различных заболеваний в зависимости от факторов воздействия (рис. 2 А – химических факторов, Б – физических факторов) и соотнести их на карте местности.



А.



Б.

Рис. 2. А - диаграмма острого ингаляционного воздействия химических веществ; Б - диаграмма вероятности развития хронических заболеваний от воздействия шума



Рис. 3. А, Б – риски развития суммарных хронических заболеваний от комплексного воздействия химических и физических факторов

Особенно показательными оказались результаты оценки рисков заболеваний при учёте сочетанного воздействия физических и химических факторов и их эффектов совместного усиления, превышающих сумму воздействий – синергизма (коэффициенты потенцирования) (рис. 3). На диаграмме А (рис. 3 А) показаны значения рисков развития хронических заболеваний от комплексного воздействия химических и физических факторов с учетом их эффектов суммации токсического воздействия.

По сравнению с вышеприведёнными диаграммами показателей рисков здоровью человека в отдельности от химических (рис. 2. А) и физических факторов (рис. 2. Б), на диаграммах, отражающих риски от сочетанного воздействия факторов (рис.3. А, Б) наблюдается значительное повышение вероятности развития хронических заболеваний от комплексного воздействия химических и физических факторов. Это вызвано, вероятно, учитываемыми эффектами взаимного усиления факторов – синергизмом.

Разработанное программное обеспечение позволило получить данные не только о вероятности развития различных заболеваний от приоритетных химических и физических факторов и соотнести их на карте, но и оценить их интегральное воздействие с учётом эффектов синергизма.

В результате комплексной оценки рисков здоровью человека, связанных с воздействием химических и физических факторов на загрязненной территории, были выявлены наиболее проблемные участки города и их оказалось значительно больше, с точки зрения не приемлемости рисков для здоровья населения, чем при существующей системе мониторинга.

Ранее проблема была завуалирована приемлемостью рисков и не требовала соответствующих природоохранных действий для уменьшения рисков до несущественных уровней.

На основе использования новой автоматизи-

рованной программы, специализированной для комплексной оценки рисков здоровью населения, появится возможность совершенствовать объективную оценку экологической опасности жителей города. В результате будет сформирована база для дальнейшего развития и реализации природоохранной стратегии и стратегии экологической безопасности города и принятия управленческих решений по регулированию воздействий.

Проведённые расчёты показали, что максимальное значение индекса опасности в городе Тольятти 13,96. Наибольший вклад в значения этого показателя вносят приоритетные токсиканты: диоксид азота, оксид углерода, формальдегид.

Таким образом, методология комплексного анализа рисков здоровью представляет собой перспективный и развивающийся подход в системе контроля качества среды обитания человека и оценки экологической опасности. Особенно этот подход актуален для городов, где наблюдаемое значительное загрязнение урбанизированных территорий промышленными и транспортными источниками приводит к увеличению риска возникновения экологически обусловленных заболеваний от комплексного воздействия факторов различной природы. Проблема антропогенного загрязнения урбанизированных территорий требует комплексного решения и учета управляемых факторов риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [под. ред. Рахманина Ю.А., Онищенко Г.Г.] / С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева, С.М. Новиков, Г.Г. Онищенко. М.: М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
2. Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды / А.А. Быков, Г.М. Земляная, Л.Г. Соленова, В.Д. Фурман. М.: Анкил, 1999. 42 с.

3. *Васильев А.В., Заболотских В.В., Терещенко И.О., Терещенко Ю.П.* Программное обеспечение «Monitoring of chemical pollutions (MCP)». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2012614443, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17 мая 2012 г.
4. *Васильев А.В., Заболотских В.В., Терещенко И.О., Терещенко Ю.П.* Программа для ЭВМ «Комплексная оценка экологического риска». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013619171, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26 сентября 2013 г.
5. *Заболотских В.В., Терещенко Ю.П.* Изучение свойств токсикантов города Тольятти и их влияния на здоровье человека на базе информационных технологий // Сборник докладов научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и пути их решения», 3 декабря 2010 г., г. Тольятти: - Самара: Издательство СНЦ РАН, 2010. 252 с.
6. *Заболотских В.В., Васильев А.В.* Комплексный мониторинг антропогенного загрязнения в системе обеспечения экологической безопасности города // Вектор науки ТГУ 2012. № 2 (20). С.58 – 62.
7. *Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А.* Комплексное определение антропогенной нагрузки на водные объекты, почву, атмосферный воздух в районах селитебного освоения [под ред. Рахманина Ю.А., Онищенко Г.Г.]. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 1996. 28 с.
8. *Шашина Т.А.* Сравнительная канцерогенная эффективность ионизирующего излучения и химических соединений: Публикация 96 НКРЗ [под ред. И.В. Филюшкина]. М.: Энергоатомиздат, 1998 – с.12-17.
9. *Vasilyev A.V., Zabolotskikh V.V., Vasilyev V.A.* Development of methods for the estimation of impact of physical factors on the health of population. Safety of Technogenic Environment. 2013. № 4. Pp. 42-45.
10. *Vasilyev A.V.* Method and approaches to the estimation of ecological risks of urban territories // Safety of Technogenic Environment. 2014. № 6. Pp. 43-46.

METHODOLOGY OF ESTIMATION OF RISKS TO THE HEALTH OF POPULATION OF URBAN TERRITORIES

© 2016 V.V. Zabolotskikh, A.V. Vasilyev, Yu.P. Tereshchenko, V.A. Vasilyev

Samara Scientific Center of Russian Academy of Science

The authors have developed complex system of an assessment of risks to health of the person taking into account the combined impact on the population of the urbanized territories of physical and chemical factors and use of information technologies and the software. The information and analytical programs are developed by authors allow to carry out processing and an assessment of results of measurements of physical and chemical environmental pollution and to carry out calculations of integrated indicators of their combined influence taking into account the synergetic effects exceeding simple summation of influences. *Keywords:* risks for health of the population, an ecological condition of the urbanized territories, an integrated approach to assessment of risks, chemical and physical factors, synergetic effects.

Vlada Zabolotskikh, Candidate of Biology, Associate Professor, Research Fellow of Department of Engineering Ecology and Ecological Monitoring. E-mail: Vlada310308@mail.ru

Andrey Vasilyev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Engineering Ecology and Ecological Monitoring. E-mail: avassil62@mail.ru

Yulia Tereshchenko, Engineer of Department of Engineering Ecology and of Ecological Monitoring.

E-mail: ulchik1989@yandex.ru

Vladislav Vasilyev, Engineer of Department of Engineering Ecology and of Ecological Monitoring.

E-mail: vladvas93@mail.ru