

УДК 502/504.05:004.5

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ
РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
МЕДИКО-
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА**

С. А. Куролап *
О. В. Клепиков **
П. М. Виноградов *
В. А. Гриценко ***



* Воронежский государственный университет
394018, Россия, Воронеж,
Университетская пл., 1.

** Воронежский государственный университет инженерных технологий
394036, Россия,
Воронеж, просп. Революции, 19.

*** Балтийский федеральный университет им. И. Канта
236041, Россия,
Калининград, ул. А. Невского, 14.

Поступила в редакцию 22.08.2016 г.

doi: 10.5922/2074-9848-2016-4-10

© Куролап С. А., Клепиков О. В.,
Виноградов П. М., Гриценко В. А. 2016

Рассматриваются результаты разработки научно-методического подхода к геоинформационному обеспечению регионального медико-экологического мониторинга урбанизированной территории. Цель работы — создание геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения регионального медико-экологического мониторинга и интегральной оценки экологического состояния территории крупного промышленного центра, такого как Воронеж.

Методология исследования базируется на современных подходах оценки риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания. Эти подходы основываются на применении геоинформационных технологий и вероятностно-статистических многокритериальных оценок для выявления причинно-следственных связей в системе «Факторы окружающей среды — здоровье населения». В результате проведенного исследования статистически подтверждено увеличение частоты заболеваний детского населения в техногенно загрязненных районах; в число болезней наибольшей экологической обусловленности включены врожденные аномалии, новообразования, эндокринная патология и болезни мочеполовой сферы; приоритетные факторы риска здоровью — эмиссионная нагрузка выбросов канцерогенов в атмосферу и автотранспортная нагрузка на среду обитания. Обосновано выделение зон экологического риска и разработаны принципы создания автоматизированной системы мониторинга здоровья населения, контроля факторов экологического риска. Практическая значимость исследования определяется разработкой рекомендаций по снижению степени экологического риска и охране общественного здоровья с учетом повышения эффективности мониторинга состояния среды обитания.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, экологический риск, интегральная оценка, мониторинг здоровья населения



Создание региональных систем медико-экологического мониторинга (мониторинга воздействия вредных факторов среды обитания на здоровье население) — важнейший аспект деятельности региональных природоохранных ведомств. Эффективность создания подобных систем значительно повышается на базе применения современных геоинформационных технологий, обеспечивающих достаточный набор инструментов для сбора, анализа информации, составления прогнозов и принятия на их основе управленческих решений для минимизации экологического риска для здоровья населения [1; 21].

Методология создания систем регионального медико-экологического мониторинга с применением информационных технологий основывается прежде всего на трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области экогеохимии, биоиндикации и мониторинга техногенных загрязнений [5; 10; 20; 23; 27; 32—34], урбоэкологии [3; 6; 24], экологии человека и оценки экологического риска для здоровья населения [21; 22], а также технологий многокритериальных оценок, геоэкологического геоинформационного картографирования [4; 8; 13; 15; 16; 25] и практическом опыте использования геоинформационных систем в поддержке принятия управленческих решений в здравоохранении и территориальном планировании [2; 12; 35], апробированных в различных регионах Северо-Запада, Центра России, Сибири и других стран мира.

Особенностью этой методологии (рискологический подход) является то, что для оценки «здоровья среды» используются не только экосистемные и популяционные показатели как таковые, но и индикаторные показатели состояния различных депонирующих сред и живых организмов. Известно, что уровень популяционного здоровья находится в определенной зависимости от факторов риска, прежде всего от присутствия в среде обитания потенциально опасных химических веществ и других вредных экологических факторов. Состояние окружающей среды, организмов-биоиндикаторов и здоровья человека, оцененное по различным диагностическим параметрам с использованием альтернативных и взаимодополняющих методов, является «откликом» на неблагоприятные антропогенные воздействия, т. е. критериями качества, или «здоровья среды» [1].

Основой системы медико-экологического мониторинга выступает информация, получаемая в ходе непрерывных, систематических наблюдений. Она должна включать в себя массивы данных об источниках техногенного загрязнения (стационарных и передвижных), уровне загрязнения основных депонирующих (вода, почва) и транзитных (атмосфера, снежный покров) сред, а также параметрах биотических реакций (например, древесных растений) и критериях общественного здоровья, как в фокусе, отражающих состояние среды обитания.

Один из эффективных методов синтеза разнородных данных — картографический в сочетании с автоматизацией всех этапов работы с информацией. Перечисленным требованиям в настоящее время вполне удовлетворяют географические информационные системы (ГИС), на-



пример ArcGIS, MapInfo Professional, ГИС «Карта». В рамках применения ГИС для контроля комплексного техногенного воздействия на окружающую среду ведется разработка геонформационно-аналитических комплексов обеспечения экологического мониторинга отдельных регионов. Примеры подобного подхода к решению проблемы интеграции данных различных природоохранных и медицинских ведомств в рамках регионов и отдельных субъектов Российской Федерации приводятся А. А. Тигеевым [26], Н. О. Гусейновой и др. [7], С. Ф. Мазуровым [14], А. А. Ямашкиным [31].

Известно, что на каждой урбанизированной территории существует своя региональная специфика формирования состояния окружающей среды и общественного здоровья. Так, в ряде геоэкологических исследований, проведенных ранее на территории Воронежской области и г. Воронежа, к числу приоритетных, наиболее значимых проблем по результатам интегральной оценки качества городской среды отнесен значительный уровень загрязнения атмосферного воздуха, имеющий высокую вариабельность по территории и отражающий различия уровней экологического риска для населения [9, 11, 18, 29].

Особенности регионального геоинформационного комплекса для обеспечения медико-экологического мониторинга урбанизированной территории

Опираясь на общесистемные подходы, мы создали геоинформационно-аналитический комплекс для обеспечения медико-экологического мониторинга крупного города («ЭКОГИС г. Воронежа»), включающий подсистемы хранения эколого-геохимических и медико-географических данных, а также программно-алгоритмическое обеспечение оценки экологических рисков. Базовым временным сроком для оценки качества городской среды выбран семилетний период (2009—2015). В качестве операционных территориальных единиц (ОТЕ) взяты три уровня генерализации информации: 1) функционально-планировочные зоны города (6 зон и фон, всего 7 территориальных единиц); 2) районы обслуживания детских поликлиник города (12 территорий); 3) специальные пункты мониторинга состояния городской среды (75 пунктов, включающих стационарные и передвижные посты контроля воздуха системы гидрометслужбы, санитарно-эпидемиологической службы, а также дополнительно выбранные нами пункты для равномерного охвата территории города системой экологического контроля). С помощью языка программирования MapBasic автоматизирован процесс оценки риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха. Специально разработан программный модуль, реализующий количественные расчеты уровней риска для здоровья населения в соответствии с нормативно-методическим документом Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [21].

Исходные данные для создания «ЭКОГИС г. Воронежа» получены в ходе натуральных экспериментальных исследований авторов, а также предоставлены региональными природоохранными и мониторинговыми ведомствами города. Структура созданной ГИС показана на рисунке 1, а пункты отбора проб атмосферы, снежного покрова, почвы — на рисунке 2. Созданный ГИС-комплекс — основа автоматизированного рабочего места эколога-практика, объединяющего в единое целое информационную, аналитическую и управленческую задачи единой системы городского медико-экологического мониторинга.



Рис. 1. Структура базы данных для интегральной экологической оценки и геоинформационного обеспечения медико-экологического мониторинга



Рис. 2. Размещение точек (пунктов мониторинга) отбора проб атмосферы, снежного покрова, почвы на территории г. Воронежа

Исходная цифровая основа — карта г. Воронежа — дифференцирована на шесть основных тематических слоев: 1) растительность (внутригородские и пригородные зеленые массивы, парки, скверы, формирующие «зеленый каркас» городской агломерации); 2) гидрография (Воронежское водохранилище, постоянные и временные водотоки); 3) жилые кварталы города (селитебная зона): кварталы жилой городской застройки по трем функциональным подзонам: а) центральная историческая часть города, включая разноэтажную общественно-деловую и «старую» пятиэтажную застройку 1950—1970-х гг.; б) кварталы с современной многоэтажной застройкой (в основном от девяти этажей и выше) периода 1980-х гг. — начала нынешнего столетия; в) частный сектор: преимущественно низкоэтажная (1—2 этажа) и коттеджная жилая застройка.

Формирование баз данных исходных показателей и реализация алгоритмов анализа в совокупности обеспечили создание специализированного ГИС-комплекса, обеспечивающего системность сбора и оценки разнообразных экологических и медицинских данных, «привязку» к существ-

вующей системе экологического контроля, автоматизацию процедур анализа данных и расчета экологических рисков, а также возможность оперативного геоинформационного картографирования [9; 11; 28; 29].

Методика оценки опасности воздействия источников аэротехногенного загрязнения на окружающую среду и здоровье населения

На основании созданного реестра промышленных и автотранспортных вкладчиков в загрязнение атмосферы г. Воронежа (199 предприятий, 152 основные улицы) нами разработана оригинальная методика оценки опасности воздействия источников аэротехногенного загрязнения, включающая поэтапную реализацию следующих расчетных процедур.

1. *Оценка потенциальной опасности промышленных вкладчиков.* Сначала по каждому промышленному объекту (промплощадке) расчетным путем определяли индексы опасности выбросов загрязняющих веществ (ЗВ): *индекс опасности выбросов ЗВ 1-го класса опасности* ($I_{1кл}$ — % от общегородского выброса ЗВ 1-го класса опасности); *2-го класса опасности* ($I_{2кл}$ — % от общегородского выброса ЗВ 2-го класса опасности); *3-го класса опасности* ($I_{3кл}$ — % от общегородского выброса ЗВ 3-го класса опасности); *4-го класса опасности* ($I_{4кл}$ — % от общегородского выброса ЗВ 4-го класса опасности); всего — четыре индекса опасности ЗВ отдельных классов.

Затем рассчитали *средневзвешенный индекс экологической опасности предприятия* ($I_{прм}$) с учетом весовых коэффициентов опасности ЗВ разных классов опасности [9], используемой для расчета суммарного индекса загрязнения атмосферы $K_{атм}$, по формуле

$$K_{атм} = \left(\frac{C_1}{N_1 \cdot ПДК_{C_1}} + \frac{C_2}{N_2 \cdot ПДК_{C_2}} + \frac{C_n}{N_n \cdot ПДК_{C_n}} \right) \cdot t,$$

где $C_{1, 2...n}$ — средняя за год концентрация 1...n-вещества; $ПДК_{1, 2...n}$ — среднесуточная предельно допустимая концентрация $C_{1, 2...n}$ — вещества; $N_{1, 2...n}$ — константа, принимающая значения 1; 1,5; 2; 4 соответственно для веществ 1, 2, 3, 4-го классов опасности; $t = P / P_0$, где P — среднегодовой процент повторяемости штилей, %; $P_0 = 12,5$ %.

Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе динамично меняется во времени и пространстве и зависит от многих факторов. За длительный период (год и более) при нормальном распределении вариационного ряда целесообразно использовать среднее арифметическое значение концентрации. В связи с этим средневзвешенный индекс экологической опасности нами был выбран как наиболее репрезентативная характеристика.

Используя весовые константы, применили следующую формулу:

$$I_{прм} = \frac{I_{1кл}}{1} + \frac{I_{2кл}}{1,5} + \frac{I_{3кл}}{2} + \frac{I_{4кл}}{4}.$$



2. Расчет индекса опасности выбросов канцерогенных загрязняющих веществ (I_{CR}), при этом I_{CR} определялся как суммарный выброс веществ с установленным канцерогенным эффектом в % от общегородского выброса загрязняющих веществ, а канцерогенами считали выбросы канцерогенных веществ, относящихся к группам 1, 2А и 2В по классификации МАИР, приведенной в «Руководстве по оценке риска...» [21]. Расчет индекса опасности выбросов канцерогенных загрязняющих веществ осуществили по формуле

$$I_{CR} = (3B_{CR} / 3B_{\Sigma}) \cdot 100 \%,$$

где $3B_{CR}$ — суммарный выброс веществ с установленным канцерогенным эффектом; $3B_{\Sigma}$ — объем общегородского выброса загрязняющих веществ.

3. Оценка потенциальной опасности автотранспортных вкладчиков. Сначала по каждой из основных улиц города с учетом ее категории [30] была определена среднегодовая интенсивность движения транспортных средств. Далее по справочнику улиц определены индексы потенциальной опасности выбросов:

— легковыми автотранспортными средствами ($I_{л\text{ек}}$) — ранговые показатели в зависимости от интенсивности движения автотранспорта по улицам различных категорий;

— грузовыми автотранспортными средствами ($I_{г\text{рз}}$), автобусами ($I_{а\text{вт}}$) и суммарный ранг автотранспортной нагрузки по общей интенсивности автотранспорта на улице заданной категории ($I_{а\text{тн}}$), рассчитанной по формуле

$$I_{а\text{тн}} = I_{л\text{ек}} + I_{г\text{рз}} + I_{а\text{вт}}.$$

4. Расчет суммарного индекса экологической нагрузки промышленно-транспортной инфраструктуры (I_{Σ}) на городскую среду для любой операционной территориальной единицы проводится с учетом весовой значимости трех основных показателей опасности выбросов ЗВ от стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферы (например, в зоне обслуживания детской поликлиники) по формуле

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (I_{п\text{рм}} + I_{C\text{R}} + I_{а\text{тн}}),$$

где $i...n$ — количество объектов (промплощадок, уличных трасс) в пределах заданной территориальной единицы.

5. Создание цифровых карт опасности техногенного воздействия на городскую среду. Осуществляется путем пространственного интерполирования значений индексов экологической опасности промышленных и автотранспортных вкладчиков методом изолиний. В итоге нами рассчитаны *площадные показатели* эмиссии ЗВ и интенсивности движения автотранспорта по микрорайонам города: 1) коэффициенты эмиссионной нагрузки выбросов ЗВ от стационарных источников в т/год на 1 кв. км площади района, в том числе по классам опасности и выбросов канцерогенных веществ; 2) коэффициенты автотранспортной

нагрузки: количество автомобилей в час на 1 кв. км площади района отдельно по легковым, грузовым автотранспортным средствам, автобусам и суммарно; 3) индекс интегральной промышленно-транспортной нагрузки (I_{Σ} — сумма нормированных значений $I_{прм}$, I_{CR} , $I_{амт}$).

Карты созданы стандартными средствами ГИС MapInfo методом IDW-интерполирования и построения изолиний при помощи модуля «Поверхность». Следует отметить, что в MapInfo используются два метода интерполяции — обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting — IDW) и нерегулярной сети треугольников (Triangulated Irregular Network — TIN). На основании опыта построения подобных тематических поверхностей нами установлено, что для карт, основывающихся на дискретных значениях (точечных данных), относительно независимых, расположенных на значительном удалении и непосредственно не влияющих друг на друга, какими и являются данные загрязнения депонирующих и транзитных сред при выборочно-статистическом исследовании, более приемлемым является метод IDW.

Анализ формирования зон техногенного загрязнения городской среды

На основе созданной «ЭКОГИС г. Воронежа» осуществлен анализ формирования зон техногенного загрязнения городской среды по нескольким основным направлениям: 1) оценка зависимости концентрации загрязняющих веществ в атмосфере от сезонного фактора и условий рассеивания загрязняющих веществ; 2) оценка статистического влияния параметров промышленно-транспортной нагрузки на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере, снеге, почве; 3) анализ связи загрязнения почвы от загрязнения снежного покрова путем сопоставления индексов загрязнения этих сред по наиболее репрезентативным пунктам экологического мониторинга.

Так, анализ загрязнения воздушного бассейна проведен с учетом вертикальной стратификации состояния атмосферы, оказывающей влияние на загрязнение в различные сезоны года. Выявлено, что наименьшие значения индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) наблюдаются в переходные сезоны года весной и осенью. В максимальных же значениях ИЗА наблюдается более четко выраженный годовой ход с минимумами в холодное время и монотонным ростом значений ИЗА вплоть до июля, когда происходит более чем двукратное превышение уровня опасности концентрации загрязнений.

Сопоставление данных по максимальным месячным значениям ИЗА и вертикального температурного градиента позволяет сделать вывод об увеличении индекса ИЗА в периоды мощных приземных инверсий, простирающихся до высоты 3 км. При этом отметим, что во всех микрорайонах города ситуация значительно усугубляется в теплое время года, когда наблюдаются максимальные значения ИЗА вследствие устойчивой стратификации атмосферы.



Анализ формирования зон техногенного загрязнения городской среды проведен с учетом стратификации атмосферы, условий конвекции и частоты инверсий, воздействующих на загрязнение атмосферы в различные сезоны года. Определены месячные индексы загрязнения атмосферы.

Анализ корреляционных связей в системе «Источники загрязнения — транзитные среды — депонирующие абиотические среды» показал в целом вполне логичную картину: в общем массиве корреляций преобладают значимые положительные коэффициенты (в 55—84% случаев), причем наиболее устойчивые связи отмечаются по самым массивным выбросам веществ 3-го и 4-го классов опасности, канцерогенам, а также по интенсивности общей промышленно-транспортной нагрузки, определяемой во многом легковым автотранспортом и удельным вкладом канцерогенов, присутствующих в выбросах от стационарных источников.

Проведенное ранжирование ответного «отклика» геохимических индикаторов на промышленно-транспортное воздействие показало более сильный «отклик» критериев качества атмосферы и почвы, в меньшей степени — снега, а к приоритетным геохимическим индикаторам можно отнести сажу и формальдегид в атмосфере, азотистые соединения в снеге, суммарный показатель загрязнения (СПЗ) почвы тяжелыми металлами (подвижными формами), более чем в 75% случаев обладающими устойчивыми положительными корреляциями с параметрами промышленно-транспортного воздействия.

Наиболее загрязнены промышленная и транспортная зоны, а между интегральными показателями загрязнения атмосферы и почвы существует достоверная положительная корреляция, свидетельствующая о существенной обусловленности загрязнения почвы аэрогенным поступлением загрязняющих веществ ($r = 0,77$).

Оценка ответных реакций биоты на техногенное загрязнение

Для оценки ответных реакций биоты на техногенное загрязнение нами применены специальные биоиндикационные методы исследования. При этом в качестве наиболее массовых видов древесных растений-биоиндикаторов были выбраны береза повислая (*Betula pendula Roth.*) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis Borkh.*). Проведенный анализ отобранных проб листьев в соответствии с принятыми методиками анализа флуктуирующей асимметрии (ФА) листовых пластинок по шкале В.М. Захарова [17] позволил рассчитать интегральный показатель стабильности развития. В качестве биоиндикационных критериев оценивались различные морфометрические характеристики листовых пластинок названных видов в различных функциональных зонах города.

Зоны, в которых выявлены неблагоприятные условия (IV балла), находятся вблизи промышленных предприятий и крупных транспортных магистралей. Наиболее благополучные показатели качества среды

(I—II балла) отмечаются в зоне рекреации и в жилой зоне (в частности, в пределах подзоны одноэтажной жилой застройки). Большой же части территории города соответствует средний уровень отклонений от условной нормы (III балла), характеризующий умеренную степень техногенного загрязнения городской среды. К таким микрорайонам относятся в основном кварталы с современной многоэтажной застройкой.

Соотношение биоиндикационных показателей по функционально-планировочным зонам показано на рисунке 3.

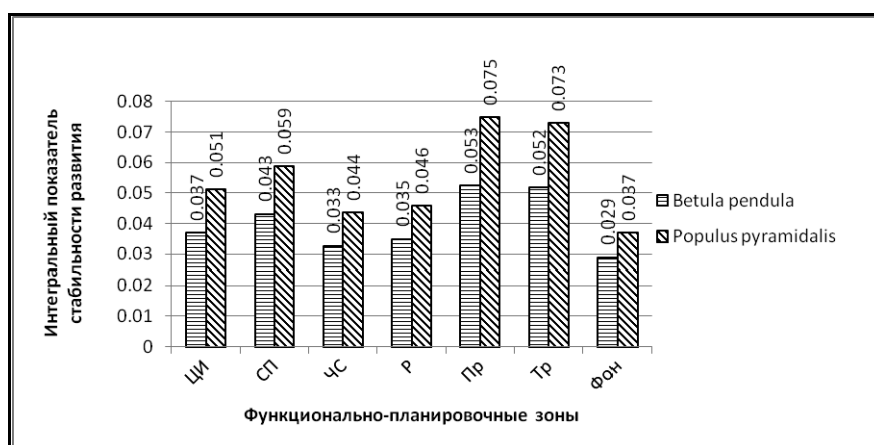


Рис. 3. Интегральный показатель стабильности развития березы повислой (*Betula pendula*) и тополя пирамидального (*Populus pyramidalis*) по территориальным зонам:

ЦИ — центральная историческая; СП — современная многоэтажная застройка; ЧС — частный сектор; Р — рекреационная; Пр — промышленная; Тр — транспортная

В целом величина отклонения интегрального показателя стабильности развития от физиологической нормы достоверно выше в промышленной левобережной части города, что объясняется как концентрацией здесь многих объектов промышленно-производственного комплекса, так и особенностями низменного рельефа местности, не способствующими самоочищению атмосферы. Проведенный выборочно-статистический анализ биоиндикационных признаков позволяет сделать вывод о том, что данные о качестве среды, полученные на основе расчета ФА, согласуются с имеющейся информацией о концентрации различных загрязнителей в атмосферном воздухе, а также со схемой расположения основных промышленных источников загрязнения городской среды.

Оценка роли техногенного загрязнения в формировании состояния здоровья детского населения

Анализ влияния факторов техногенного загрязнения городской среды на здоровье детского населения проведен на основе количественной оценки воздействия критериев промышленно-транспортного прессинга



на городскую среду и экогеохимических показателей качества атмосферы, снега и почвы. В целом отмечено преобладание достоверных положительных корреляций (около 60% случаев), подтверждающих увеличение частоты заболеваний детей, проживающих в районах, более техногенно нагруженных. В число приоритетных факторов риска здоровью по общему удельному весу положительных значимых корреляций включены коэффициент эмиссионной нагрузки выбросов канцерогенных веществ и индекс автотранспортной загруженности. В микрорайонах, приближенных к промышленным предприятиям с выбросами канцерогенно-опасных загрязняющих веществ и крупным автомагистральям, у детей, как правило, выше уровень заболеваемости по четырем классам болезней: врожденным аномалиям развития, новообразованиям, болезням эндокринной и мочеполовой систем. Различия уровней заболеваемости техногенно загрязненных и селитебно-рекреационных микрорайонов статистически достоверны и достигают 1,8 раз.

Интегральная экологическая оценка состояния городской среды

Интегральная оценка экологического состояния районов детских поликлиник города проведена по системе выявленных ранее индикаторных показателей техногенного загрязнения, общей заболеваемости детей и «отклика» древесных растений. Для сравнения применили два статистических метода: а) метод взвешенных баллов (табл. 1) и б) кластерный анализ (табл. 2).

Таблица 1

Типизация территории г. Воронежа по интегральному риску экологически обусловленных заболеваний детского населения (статистический метод взвешенных баллов)

Поликлинический район	Критерий медико-экологической напряженности *							Индекс риска ***
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y	
1	0,96	1662	0,52	131,6	29,6	0,053	977,6	3,66
2	0,24	3197	0,70	136,1	29,2	0,041	1227,5	5,06
3	3,18	2228	0,76	152,5	44,8	0,048	1535,0	8,33
4	0,001	1001	0,50	113,0	16,1	0,046	868,5	1,27
5	1,10	1395	0,75	118,4	59,5	0,049	1491,0	5,87
6	2,63	595	1,13	118,9	52,8	0,043	1441,6	5,23
7	5,46	1643	0,86	116,2	57,2	0,056	1546,1	8,33
8	2,44	1592	0,94	142,0	50,2	0,063	1295,2	7,42
9	5,18	1226	0,77	117,9	39,4	0,059	926,3	4,26
10	1,15	2588	0,72	120,1	52,1	0,054	1050,2	6,21
11	0,04	1943	0,89	121,4	38,3	0,044	1506,4	8,20
1-ВГАУ	0,00	359	0,38	113,6	13,3	0,033	821,1	0,60

Окончание табл. 1

Расчетные параметры весовой значимости переменных**								
Коэффициенты корреляции (r)	0,30	0,27	0,73	0,34	0,73	0,10	1,00	R = 0,89
Статистические веса (P)	0,41	0,37	1,00	0,46	1,00	0,14	1,36	

* X1 — коэффициент эмиссионной нагрузки выбросов канцерогенов (т/год на 1 км²); X2 — общая интенсивность движения автотранспорта (авт./час на 1 км²); X3 — комплексный показатель загрязнения атмосферы (K_{атм}); X4 — показатель общей минерализации снежного покрова (мг/л); X5 — СПЗ почвы тяжелыми металлами; X6 — средний показатель стабильности развития видов (березы повислой и тополя пирамидального); Y — ведущий критерий (общая заболеваемость детского населения).

** r — корреляция с ведущим фактором; P — отношение расчетного коэффициента корреляции к максимальному по факторам риска (0,73); R — коэффициент множественной корреляции между Y и (X1...X6).

*** Индекс медико-экологического риска, рассчитываемый по формуле

$$Y = 0,143 \cdot (0,41 \cdot X1 + 0,37 \cdot X2 + X3 + 0,46 \cdot X4 + X5 + 0,14 \cdot X6 + 1,36 \cdot Y,$$

где X1...X6, Y выражены ранговыми значениями по каждой переменной: 1 — минимальное число, 12 — максимальное число.

Таблица 2

Результаты кластерной классификации поликлинических районов

Кластер	Номер объекта (поликлиники)	Обобщенная характеристика кластерной группы
<i>Среднее внутрикластерное расстояние = 2,90</i>		
1	4*, 1-ВГАУ	Условно-чистая зона (наиболее экологически безопасная для городской биоты и населения) — зона низкого риска
2	1, 2*, 5, 9, 10	Территория типичной городской инфраструктуры с преобладанием жилой застройки в территориальном балансе; умеренно техногенно загрязненная; с пониженной заболеваемостью детей и слабыми биотическими реакциями древесных растений — зона умеренного риска
3	8*	Промышленно-транспортная загрязненная зона с максимальной техногенной нагрузкой на воздушный бассейн и почву; наиболее неблагоприятная для обитания древесных растений, но с незначительно повышенной заболеваемостью детей (компенсированное состояние) — зона повышенного риска
4	3, 6, 7, 11*	Техногенно загрязненная зона с повышенной канцерогенной опасностью и высокой заболеваемостью детей при слабых биотических реакциях древесных растений (зона риска, вызывающего опасение для населения) — зона повышенного риска

* Наиболее типичный член группы.



Статистический метод взвешенных баллов удобен для объединения множества экологических признаков, типизации территории, когда целесообразно выделить один ведущий фактор (в нашем случае — заболеваемость населения). Тогда с помощью коэффициентов взвешивания, основанных на корреляционных взаимоотношениях других признаков (факторов риска) с ведущим фактором, определяются добавочные поправки на «значимость» признаков. В итоге рассчитывается интегральный оценочный балл («гипотетический фактор») путем вычисления средневзвешенного балла, характеризующего интенсивность проявления исследуемого процесса (например, степень медико-экологической напряженности территории по совокупности частных показателей экологического состояния и здоровья населения). Результаты расчетных процедур показаны в таблице 1.

В результате применения данного метода определен ранг медико-экологической напряженности для каждого поликлинического района. Наиболее высокая медико-экологическая напряженность отмечена на правом берегу — на территории 3-й поликлиники, а на левом берегу — в промышленно-транспортном районе 7-й детской поликлиники. По большинству медико-экологических критериев наиболее безопасны с экологической точки зрения два окраинных «спальных» микрорайона — в районе Агроуниверситета (1-ВГАУ) и юго-западной окраины (4-я детская поликлиника).

Кластерный анализ позволил классифицировать поликлинические районы по сходству проявления как факторов техногенного загрязнения, так и биотических, медико-экологических критериев. Результаты классификации показаны в таблице 2.

Методом кластерного анализа параметров сходства функционально-планировочных зон выделены три кластерные группы: а) промышленная и транспортная зоны совместно (наиболее техногенно загрязненные); б) селитебная, объединяющая все подзоны независимо от этажности и историко-композиционного построения (территории умеренного загрязнения); в) селитебно-рекреационная и фон (наиболее экологически безопасные, комфортные). В перспективном градостроении нужно, видимо, стремиться к рассредоточению и более четкому обособлению рекреационных и селитебных зон от промышленных и транспортных зон, которые плотно сконцентрированы и перемежаются, создавая локальные очаги экологического неблагополучия для биоты и населения.

Примененный метод позволил выделить четыре группы районов, различающихся по сочетаниям диагностических признаков: условно-чистую зону, территорию типичной городской инфраструктуры смешанного типа по функционально-планировочной организации (умеренного риска) и две зоны техногенно загрязненные, но различающиеся по сочетанию факторов промышленно-транспортного загрязнения и ответным реакциям биоты и населения (повышенного риска). Качественные и количественные различия этих зон отражены в таблице 3.

Таблица 3

**Средние значения факторов риска и критериев состояния биоты,
заболеваемости детей по однородным группам
поликлинических районов***

Кластер	Критерий медико-экологической напряженности							Индекс риска
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y	
1	0,0003	680	0,44	113,3	14,7	0,040	844,8	0,94
2	1,73	2013	0,69	124,8	41,9	0,051	1134,5	5,01
3	2,44	1592	0,94	142,0	50,2	0,063	1295,2	7,42
4	2,83	1602	0,91	127,3	48,3	0,048	1507,3	7,52

* Наименования признаков соответствуют таблице 1.

Несмотря на отдельные различия в системе типизации районов, в целом оба метода подтвердили вполне закономерную обусловленность уровня общественного здоровья и биотических реакций растений характером техногенного загрязнения городской среды.

Завершающим элементом интегральной оценки стало создание карты, отражающей градиентные различия индексов экологического риска с обработкой данных по наиболее репрезентативным пунктам мониторинга среды обитания (рис. 4).



Рис. 4. Интегральная оценка экологического состояния территории г. Воронежа (метод IDW-интерполяции)

Построенная карта иллюстрирует территориальные различия, достигающие примерно трехкратного уровня по разнице индексов риска в благополучных окраинных микрорайонах и территориях общественно-центра, промышленно-транспортных зон.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы.

1. Техногенное загрязнение формируется за счет природно-экологического фактора, в частности сезонности и стратификации атмосферы, а также особенностей функционально-планировочной инфраструктуры и промышленно-транспортного комплекса.

2. Критерии качества атмосферы и почвы дают более сильный ответный «отклик» на промышленно-транспортное воздействие, снег же является геохимическим индикатором значительно меньшего эффекта.

3. Вблизи промышленных объектов левобережного сектора достоверно ухудшаются условия существования древесных растений, что проявляется в двухкратном отклонении показателя стабильности развития от фона для березы повислой и тополя пирамидального.

4. Статистически подтверждено увеличение частоты заболеваний детей (примерно в 1,8 раз) врожденными аномалиями, новообразованиями, болезнями эндокринной и мочеполовой сферы в районах, техногенно загрязненных, по сравнению с селитебно-рекреационными; приоритетные факторы риска здоровью — коэффициент эмиссионной нагрузки выбросов канцерогенов и индексы автотранспортной загруженности.

5. На территории г. Воронежа промышленная зона «лидирует» по суммарному загрязнению воздуха, а транспортная — по суммарному загрязнению почвы и снежного покрова.

Обобщение материалов исследования позволило разработать схему медико-экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий как необходимый составной блок городской экологической политики. Ее основными принципами должны быть следующие.

1. Соответствие единой государственной системе экологического мониторинга (ЕГСЭМ) [19].

2. Системность организации информации, характеризующей состояние окружающей среды, биоты и здоровья населения (к числу приоритетных контролируемых сред должны относиться атмосфера, снежный покров, почва, биота (параметры жизнедеятельности растений) и критерии общественного здоровья, в первую очередь детского населения).

3. Равномерный и полный охват территории города сетью постов экологического мониторинга.

4. Унификация критериев экологического мониторинга, связанных с системой экологического нормирования (в ряде случаев соблюдение нормативов не является гарантией безопасного воздействия неблагоприятных факторов на биоту; так, древесные растения по ряду токсикантов — оксидам азота, серы, свинцу — являются более чувствитель-

ными к их воздействию; неблагоприятные эффекты в их жизнедеятельности отмечаются при концентрациях веществ в атмосферном воздухе на уровне ниже ПДК, что отмечено и на территории г. Воронежа, где реакции древесных растений не в полной мере согласуются с реакцией населения (заболеваемостью детей) на неблагоприятные воздействия).

5. Синхронизация систем наблюдения различными природоохранными ведомствами (целесообразно создать единое информационное поле экологического мониторинга на базе объединения информационных потоков различных природоохранных служб, а также статистики областного здравоохранения: локальные базы данных и средства по созданию и ведению информационного обеспечения; единые подходы к расчету рисков для здоровья населения).

Для снижения экологического риска на территории г. Воронежа представляются приоритетными три задачи, направленные на минимизацию содержания в атмосфере (как основной депонирующей среде, формирующей зоны экологического риска) загрязняющих веществ — производных технологического прессинга города:

— модернизация транспортных сетей города с увеличением их пропускной способности, качества дорожного покрытия, средней скорости движения транспортных средств;

— модернизация технологических процессов и сокращение выбросов в атмосферу предприятий теплоэнергетики и ряда других промышленных объектов для обеспечения допустимого загрязнения воздушного бассейна;

— развитие и реконструкция систем внутригородского и внешнего пригородного озеленения с созданием экологического каркаса.

Стратегически важно скорректировать существующий баланс застройки с тем, чтобы рассредоточить непрерывную и достаточно обширную зону высокого техногенного прессинга и риска здоровью населения, внедрив в существующую застройку элементы экологического каркаса (озеленение, садово-парковые рекреационные микрзоны), что обеспечит снижение уровней экологического риска и повышение комфортности городской среды обитания.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00722.

Список литературы

1. Авалиани С.Л., Ревич Б.А., Захаров В.М. Региональная экологическая политика. Мониторинг здоровья человека и здоровья среды. М., 2001.
2. Архипова И.В., Ведухина В.Г. Эколого-географическое картографирование в градостроительном проектировании муниципального уровня // ИнтерКарто/ИнтерГИС-17. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт : матер. междунар. конф. Барнаул, 2011. С. 254—258.
3. Владимиров В.А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. М., 2002.
4. Геоинформатика / под ред. В.С. Тикунова. М., 2005.
5. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М., 1990.
6. Городская среда: геоэкологические аспекты : монография. Минск, 2013.



7. Гусейнова Н. О., Булаева Н. М., Магомедов Б. И., Аскеров С. Я. Экологический мониторинг Дагестана с использованием дистанционного зондирования и ГИС-технологий (на примере г. Махачкалы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5, т. 2. С. 477—482.
8. Дмитриев В. В., Каледин Н. В. Интегральная оценка состояния региональных социо-эколого-экономических систем и качества жизни населения (на примере субъектов Северо-Западного федерального округа России) // Балтийский регион. 2016. Т. 8, № 2. С. 125—140.
9. Интегральная экологическая оценка состояния городской среды : монография / под ред. С. А. Куролапа, О. В. Клепикова. Воронеж, 2015.
10. Касимов Н. С., Никифрова Е. М., Кошелева Н. Е., Хайбрахманов Т. С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 2. Ландшафтно-геохимическая карта // Геоинформатика. 2013. № 1. С. 28—32.
11. Куролап С. А., Мамчик Н. П., Клепиков О. В. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды. Воронеж, 2006.
12. Красильников И. А., Мусийчук Ю. И., Струков Д. Р. Практический опыт использования геоинформационных систем в поддержке принятия управленческих решений в здравоохранении Санкт-Петербурга // ArcReview. 2012. № 1(60). URL: <http://www.dataplus.ru/news/arcreview/> (дата обращения: 05.04.2014).
13. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. М., 2008.
14. Мазуров С. Ф. Комплексное геоинформационное картографирование административных и хозяйственных территорий и их структур (на примере Байкальского региона) : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2014.
15. Макаров В. З., Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н. Эколого-географическое картографирование городов. М., 2002.
16. Малхазова С. М., Котова Т. В., Тикунов В. С. Картографирование динамики заболеваемости населения: подходы и новые решения // Геодезия и картография. 2015. № 10. С. 25—33.
17. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). М., 2003.
18. Негрбов О. П., Жуков Д. М., Фирсова Н. В. Экологические основы оптимизации и управления городской средой. Экология города. Воронеж, 2000.
19. Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды : постановление Правительства РФ от 6 июня 2013 г. № 477 // Собрание законодательства Рос. Федерации. 2013. № 24.
20. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений. СПб., 2004.
21. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду : монография / под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. М., 2002.
22. Прохоров Б. Б. Прикладная антропоэкология. М., 1998.
23. Ревич Б. А., Авалиани С. Л., Тихонова П. И. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека. Пособие по региональной экологической политике. М., 2004.
24. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / под ред. Н. С. Касимова. М., 2014.
25. Стурман В. И. Экологическое картографирование : учеб. пособие. М., 2003.
26. Тигеев А. А. Структура региональной экологической ГИС Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2009. № 10. С. 210—213.
27. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н. С. Касимова. М., 1995.

28. *Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды* : сб. науч. ст. / под общ. ред. С. А. Куролапа, О. В. Клепикова. Воронеж, 2014.

29. *Эколого-гигиенические основы мониторинга и охраны городской среды* / Н. П. Мамчик [и др.]. Воронеж, 2002.

30. *Якушев А. Б., Куролап С. А., Карпович М. А.* Экологическая оценка воздействия автотранспорта на воздушный бассейн городов Центрального Черноземья. Воронеж, 2013.

31. *Ямашкин А. А.* Геоэкологический анализ хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии. Саранск, 2001.

32. *Burden F. R., Donnert D., Godish T., McKelvie I.* Environmental monitoring handbook. McGraw-Hill Companies, 2004.

33. *GIS for Green Government. Providing Sustainable Solutions* — ESRI, New York, 2009. URL: <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/gis-for-green-government.pdf> (дата обращения: 23.06.2016).

34. *Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W.* Geographic Information Systems & Science (Third Edition). Wiley : Hoboken, New Jersey, 2011.

35. *Melville N. P., Ross S. M.* Information systems innovation for environmental sustainability // MIS Quarterly. 2010. Vol. 34, №. 1. P. 1—21.

Об авторах

Семен Александрович Куролап, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, Россия.

E-mail: skurolap@mail.ru

Олег Владимирович Клепиков, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры инженерной экологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия.

E-mail: klepa1967@rambler.ru

Павел Михайлович Виноградов, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, Россия.

E-mail: vinpaul89@gmail.com

Владимир Алексеевич Гриценко, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой географии океана, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: gritsenko_vl@mail.ru

Для цитирования:

Куролап С. А., Клепиков О. В., Виноградов П. М., Гриценко В. А. Геоинформационное обеспечение региональной системы медико-экологического мониторинга // Балтийский регион. 2016. Т. 8, №4. С. 146—167. doi: 10.5922/2074-9848-2016-4-10.



REGIONAL GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS OF HEALTH
AND ENVIRONMENTAL MONITORING

S. Kurolap*
O. Klepikov**
P. Vinogradov*
V. Gritsenko***

* Voronezh State University
1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russia,
** Voronezh State University of Engineering Technology
19 Revolution pr., Voronezh, 394036, Russia
*** Immanuel Kant Baltic Federal University,
14 A. Nevskogo ul., Kaliningrad, 236040, Russia

Submitted on August 22, 2016

The article describes a new scientific and methodological approach to designing geographic information systems of health and environmental monitoring for urban areas. Geographic information systems (GIS) are analytical tools of the regional health and environmental monitoring; they are used for an integrated assessment of the environmental status of a large industrial centre or a part of it. The authors analyse the environmental situation in Voronezh, a major industrial city, located in the Central Black Earth Region with a population of more than 1 million people. The proposed research methodology is based on modern approaches to the assessment of health risks caused by adverse environmental conditions. The research work was implemented using a GIS and multicriteria probabilistic and statistical evaluation to identify cause-and-effect links, a combination of action and reaction, in the dichotomy 'environmental factors — public health'. The analysis of the obtained statistical data confirmed an increase in childhood diseases in some areas of the city. Environmentally induced diseases include congenital malformations, tumors, endocrine and urogenital pathologies. The main factors having an adverse impact on health are emissions of carcinogens into the atmosphere and the negative impact of transport on the environment. The authors identify and characterize environmentally vulnerable parts of the city and developed principles of creating an automated system of health monitoring and control of environmental risks. The article offers a number of measures aimed at the reduction of environmental risks, better protection of public health and a more efficient environmental monitoring.

Key words: geographical information technologies, environmental risks, integrated assessment, monitoring of public health.

References

1. Avaliani, S.L., Revich, B.A., Zaharov, V.M. 2001. *Regional'naya ehkologicheskaya politika. Monitoring zdorov'ya cheloveka i zdorov'ya sredy* [Regional environmental policy. Monitoring of health of the person and health of the environment], Moscow, 76 p.

2. Arhipova, I. V., Vedishina, V. G. 2011. *Ekologiko-geograficheskoe kartografirovaniye v gradostroitel'nom proektirovanii municipal'nogo urovnya* [Ekology-geographical mapping in town-planning design of municipal level], *InterKarto/InterGIS-17, Ustojchivoe razvitiye territorij: teoriya GIS i prakticheskij opyt* [Sustainable development of territories: theory of GIS and practical experience], Barnaul, p. 254—258.
3. Vladimirov, V. A. 2002. *Ocenka riska i upravlenie tekhnogennoj bezopasnost'yu* [Assessment of risk and management of tekhnogeny safety], Moscow, 184 p.
4. Tikunov, V. S. (ed.), 2005, *Geoinformatika*, Moscoe, 480 p.
5. Saet, Y. U. E. etc. 1990, *Geohimiya okruzhayushchej sredy* [Environment geochemistry], Moscow, 335 p.
6. Homich, V. S. etc. 2013, *Gorodskaya sreda: geoekologicheskie aspekty* [Urban environment: geoecological aspects], Minsk, 301 p.
7. Gusejnova, N. O., Bulaeva, N. M., Magomedov, B. I., Askerov, S. Ya. 2008. *Ekologo-logicheskij monitoring Dagestana s ispol'zovaniem distancionnogo zondirovaniya i GIS-tekhnologij (na primere g. Mahachkaly)* [Environmental monitoring of Dagestan with use of remote sensing and GIS-tekhology (on the example of Makhachkala)], *Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of Earth from space], Vol. 5, no. 2, p. 477—482.
8. Dmitriev, V. V., Kaledin, N. V. 2016. *Integral'naya ocenka sostoyaniya regional'nyh socio-ekologo-ehkonomicheskikh sistem i kachestva zhizni naseleniya (na primere sub"ektov Severo-Zapadnogo Federal'nogo okruga Rossii)*, *Balt. Reg.*, Vol. 8, no. 2, p. 125—140.
9. Kurolap, S. A., Klepikov, O. V. (eds.), 2015, *Integral'naya ehkologicheskaya ocenka sostoyaniya gorodskoj sredy* [Integrated ecological assessment of a condition of the urban environment], Voronezh, 267 p.
10. Kasymov, N. S., Nikifrova, E. M., Kosheleva, N. E., Hajbrahmanov, T. S., 2013. *Geoinformacionnoe landshaftno-geohimicheskoe kartografirovaniye gorodskih territorij (na primere VAO Moskvyy)*. 2. *Landshaftno-geohimicheskaya karta* [Geoinformation landscape and geochemical mapping of urban areas (on the example of VAO of Moscow). 2. Landscape and geochemical card], *Geoinformatika*, no. 1, p. 28—32.
11. Kurolap, S. A., Mamchik, N. P., Klepikov, O. V. 2006, *Ocenka riska dlya zdorov'ya naseleniya pri tekhnogenom zagryaznenii gorodskoj sredy* [Risk assessment for health of the population at tekhnogeny pollution of the urban environment], Voronezh, 220 p.
12. Krasil'nikov, I. A., Musijchuk, Yu. I., Strukov, D. R. 2012. *Prakticheskij opyt ispol'zovaniya geoinformacionnyh sistem v podderzhke prinyatiya upravlencheskih reshenij v zdavoohranenii Sankt-Peterburga* [Practical experience of use of geographic information systems in support of adoption of administrative decisions in health care of St. Petersburg], *ArcReview*, no. 1 (60), available at: <http://www.data-plus.ru/news/arcreview> (accessed 12.11.2015).
13. Lur'e, I. K. 2008. *Geoinformacionnoe kartografirovaniye* [Geoinformation mapping], Moscow, 423 p.
14. Mazurov, S. F. 2014, *Kompleksnoe geoinformacionnoe kartografirovaniye administrativnyh i hozyajstvennyh territorij i ih struktur (na primere Bajkal'skogo regiona)* [Complex geoinformation mapping of administrative and economic territories and their structures (on the example of the Baikal region)], PhD thes., Novosibirsk, 99 p.
15. Makarov, V. Z., Novakovskij, B. A., Chumachenko, A. N. 2002, *Ekologiko-geograficheskoe kartografirovaniye gorodov* [Ekology-geographical mapping of the cities], Moscow, 196 p.



16. Malhazova, S.M., Kotova, T.V., Tikunov, V.S. 2015, Kartografirovaniye dinamiki zabolevaemosti naseleniya: podhody i novye resheniya [Mapping of dynamics of incidence of the population: approaches and new decisions], *Geodeziya i kartografiya*, no. 10, p. 25—33.

17. *Metodicheskie rekomendatsii po vypolneniyu ocenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivyyh sushchestv (ocenka stabil'nosti razvitiya zhivyyh organizmov po urovnyu asimmetrii morfologicheskikh struktur)* [Methodical recommendations about performance of assessment of quality of the environment about a condition of live sushchestvo (assessment of stability of development of live organisms in the level of asymmetry of morphological structures)], 2003, Moscow, 35 p.

18. Negrobov O.P., Zhukov, D.M., Firsova, N.V. 2000, *EHkologicheskie osnovy optimizatsii i upravleniya gorodskoy sredoy. EHkologiya goroda* [Ecological bases of optimization and management of the urban environment. City ecology], Voronezh, 271 p.

19. Ob osushchestvlenii gosudarstvennogo monitoringa sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 6 iyunya 2013 g. №477 [About implementation of the state monitoring of a state and pollution of the okruzhayushchy environment: The resolution of the Government of the Russian Federation of June 6, 2013 No. 477], *Sobranie zakonodatel'stva Ros. Federatsii* [Collection of the legislation of the Russian Federation], 2013. №24. P. 85—94.

20. Opekunova, M.G. 2004. *Bioindikatsiya zagryaznenij* [Bioindication of pollution], St. Petersburg, 266 p.

21. Rahmanin, Yu.A., Onishchenko, G.G. etc. 2002, *Osnovy ocenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii himicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchih okruzhayushchuyu sredu* [Risk assessment bases for health of the population at influence of the chemicals polluting the environment], Moscow, 408 p.

22. Prohorov, B.B. 1998, *Prikladnaya antropoehkologiya* [Applied anthropoecology], Moscow, 312 p.

23. Revich, B.A., Avaliani, S.L., Tihonova, P.I. 2004, *Osnovy ocenki vozdeystviya zagryaznennoj okruzhayushchej sredy na zdorov'e cheloveka. Po-sobie po regional'noj ehkologicheskoy politike* [Bases of assessment of impact of the polluted environment on health of the person. A grant on regional environmental policy], Moscow, 268 p.

24. Kasymov, N.S. 2014, *Regiony i goroda Rossii: integral'naya ocenka ehkologicheskogo sostoyaniya* [Regions and cities of Russia: integrated assessment of an ecological state], Moscow, 560 p.

25. Sturman, V.I. 2003, *EHkologicheskoe kartografirovaniye* [Ecological mapping], Moscow, 251 p.

26. Tigeev, A.A. 2009, *Struktura regional'noj ehkologicheskoy GIS Tyumen'skoj oblasti* [Structure of regional ecological GIS of the Tyumen region], *Vestnik ehkologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, no. 10, p. 210—213.

27. Kasimov, N.S. (ed.), 1995, *EHkogeohimiya gorodskih landshaftov* [Ecogeochemistry of city landscapes], Moscow, 336 p.

28. Kurolap, S.A., Klepikov, O.V. (eds.), 2014, *EHkologicheskaya ocenka i kartografirovaniye sostoyaniya gorod-skoj sredy* [Ecological assessment and mapping of a condition of the urban environment], Voronezh, 167 p.

29. Mamchik, N.P. etc. 2002, *EHkologo-gigienicheskie osnovy monitoringa i ohrany gorodskoy sredy* [Ekologo-gigiyenichesky bases of monitoring and protection of the urban environment], Voronezh, 332 p.

30. Yakushev, A.B., Kurolap, S.A., Karpovich, M.A. 2013, *EHkologicheskaya ocenka vozdeystviya avtotransporta na vozdushnyj bassejn gorodov Central'nogo Chernozem'ya* [Ecological assessment of impact of motor transport on the air basin of the cities of the Central Black Earth], Voronezh, 207 p.

31. Yamashkin, A. A. 2001, *Geoekologicheskij analiz hozyajstvennogo osvoeniya landshaftov Mordovii* [Geocological analysis of economic development of landscapes of Mordovia], Saransk, 232 p.

32. Burden, F. R., Donnert, D., Godish, T., McKelvie, I. 2004. *Environmental monitoring handbook*, McGraw-Hill Companies, 39 p.

33. *GIS for Green Government*, 2009, Providing Sustainable Solutions — ESRI, New York, available at: <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/gis-for-green-government.pdf> (accessed 12.06.2015).

34. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. 2011, *Geographic Information Systems & Science*, Third Edition, Wiley, Hoboken, New Jersey, 432 p.

35. Melville, N. P., Ross, S. M. 2010, Information systems innovation for environmental sustainability, *MIS Quarterly*, Vol. 34, no. 1, p. 1—21.

The authors

Prof. Semen A. Kurolap, Department of Geocology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, 1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russia.

E-mail: skurolap@mail.ru

Prof. Oleg V. Klepikov, Department of Environmental Engineering, Voronezh State University of Engineering Technology, Voronezh, 19 Revolution pr., Voronezh, 394036, Russia

E-mail: klepa1967@rambler.ru

Dr Pavel M. Vinogradov, Department of Geocology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, 1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russia.

E-mail: vinpaul89@gmail.com

Prof. Vladimir A. Gritsenko, Institute of Environmental Management, Territorial Development and Urban Construction, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: gritsenko_vl@mail.ru

To cite this article:

Kurolap S. A., Klepikov O. V., Vinogradov P. M., Gritsenko V. A. 2016, Regional Geographic Information Systems of Health and Environmental Monitoring, Balt. reg. Vol. 8, no 4, p. 146—167. doi: 10.5922/2074-9848-2016-4-10.