

УДК 528.946

Н.В. Крутских<sup>1</sup>, Б.З. Белашев<sup>2</sup>

## БАЗА ДАННЫХ ВЫЗОВОВ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассмотрено использование данных вызовов скорой медицинской помощи в качестве детальной основы при геоэкологическом изучении урбанизированных территорий. Исследование проводится на примере крупного северного города – Петрозаводска. Работа включает два информационных блока: геохимический и медико-биологический. Геохимические данные отражают содержание химических элементов в почвенном покрове города. Выявлено несколько основных элементов-загрязнителей, концентрация которых превышает ПДК и фоновые значения – Pb, Zn, Cd, Cu, Sb, Sn, Co, V, W. Определены ассоциации элементов в почвах, обусловленные различными факторами накопления. Медико-биологический блок основывается на формировании базы геоданных по вызовам скорой помощи. Структура базы геоданных скорой помощи включает сведения о диагнозе, возрасте и поле пациента, дате и времени вызова. На основе информации OpenStreetMap проводится геокодирование вызовов и дополнение характеристиками городских зданий, связанными с ними. По типу здания создаются выборки вызовов скорой помощи только в жилые помещения, это в большей мере привлекает пациентов к месту проживания. Для пространственной визуализации применяются сегментированные модели распределения вызовов. Используется принцип расчета случаев заболеваемости по двум размерностям ячеек: 200×200 м и 500×500 м. Для нормирования на количество жителей используется показатель, рассчитанный по открытым данным, включающим площадь жилых помещений и статистические сведения о средней жилой площади на одного человека в регионе. Созданные модели применимы для изучения внутрисистемных связей путем анализа вызовов скорой медицинской помощи по различным диагнозам и группам пациентов. Проведено сопоставление геохимических и медицинских пространственных данных, изучено влияние загрязнения почвенного покрова на здоровье населения по возрастной группе «дети до 13 лет» с диагнозами заболевания органов дыхания и пищеварения. Показано, что наибольший отклик загрязнения почв тяжелыми металлами проявляется в виде увеличения числа случаев заболеваемости органов пищеварения у детей.

*Ключевые слова:* ГИС, база данных, пространственные данные, заболеваемость населения, вызовы скорой помощи, загрязнение почв, урбанизированные территории

**Введение.** Применение геоинформационных технологий при решении различных геоэкологических задач позволяет обрабатывать большие объемы информации [Кустов, 2008; Яблоков, 2018; Shalyari et al., 2019; Verhaegh et al., 2019]. Важное место в подобных исследованиях занимают знания о влиянии факторов абиотических компонент природной среды на ее биотическую составляющую [Трофимов, Куриленко, 2015]. Для городских территорий чувствительной экологической мишенью является человек [Черешнев, Гамбурцев, 2017]. По данным ВОЗ, здоровье населения на 20% зависит от факторов окружающей среды [Рахманин, Михайлова, 2014]. Так, загрязнение среды повышает риск кардиозаболеваний, заболеваний органов дыхания, онкозаболеваний и др. [Wong et al., 2006].

Доступность географических данных и развитие геоинформационных систем предоставили новые возможности для изучения связей между состоянием окружающей среды и распространением заболеваний. При геоэкологическом анализе ГИС решает проблему пространственной увязки данных

о состоянии среды и здоровья населения [Stewart et al., 2016], с их помощью исследуется частота возникновения заболеваемости в зависимости от удаленности проживания относительно техногенных объектов [Nuvolone et al., 2011]. Интерполяция и моделирование оказывают значимую помощь в оценке распределения факторов окружающей среды [Silva et al., 2017]. Пространственно-временная скоординированность информации является важным требованием при создании ГИС [Москаленко, 2011]. Пространственное разрешение при ГИС-анализе влияния факторов среды на возникновение различных заболеваний может оказать существенное влияние на результаты исследования [Maantay, 2007]. Интеграция данных, связанных со здоровьем, в единую систему открывает множество новых исследовательских возможностей [Kistemann et al., 2002].

Примером отечественных медико-экологических исследований является научно-прикладная работа, направленная на оценку риска для здоровья населения, связанного с состоянием окружающей среды города Воронежа. По результатам исследо-

<sup>1</sup> Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», геоинформационный центр, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: natkrut@gmail.com

<sup>2</sup> Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», лаборатория геофизики, вед. науч. с., докт. техн. н.; e-mail: belashev@krc.karelia.ru

ваний создана ГИС, включающая базы по источникам техногенного воздействия, блок данных состояния депонирующих и транзитных сред, блок медицинских данных [Медико-экологический..., 2010]. Авторами статистически подтверждено увеличение частоты заболеваний детского населения в техногенно загрязненных районах. Статистика заболеваемости здесь проведена по приуроченности к детским поликлиникам.

Создание медицинских ГИС является инструментом для решения задач оптимизации и управления ресурсами здравоохранения, прогноза медико-демографических характеристик, выявления причинно-следственных связей между факторами среды и показателями здоровья [Готов, 2013; Aghajani et al., 2017].

Необходимо отметить, что использование государственной статистической отчетности дает укрупненные представления о возможности влияния качества среды на здоровье населения в связи с недостаточной привязкой случаев заболеваемости к определенному локальному местоположению в пространстве города. Аномалии загрязнений, захватывающие несколько районов, не позволяют достоверно оценивать геоэкологические риски [Гребенюк и др., 2012]. Открытыми остаются также вопросы возможности сопоставления пространственных медицинских данных и качества природной среды в пределах урбанизированных территорий. Важным параметром медико-экологических изысканий, проводимых на муниципальном уровне, является их детальность, позволяющая обозначить экологические риски и выявить негативные тенденции, связанные с трансформацией среды.

В связи с этим основное содержание статьи посвящено разработке и апробации методики ис-

пользования данных вызовов скорой медицинской помощи в качестве детальной информационной основы геоэкологических исследований урбанизированных территорий.

Объектом исследования выбран город Петрозаводск – столица Республики Карелия. Город расположен на берегу Петрозаводской губы Онежского озера, численность населения около 280 тыс. человек. Техногенную нагрузку на окружающую среду создают небольшие промышленные производства деревообрабатывающего, пищевого, строительного направлений, возросший за последние годы автотранспортный парк, активно застраиваемые территории.

**Материалы и методы.** Исследование состоит из нескольких тематических блоков. В первом блоке проводится изучение особенностей распределения геохимических данных. Вторая тематическая группа отражает медико-биологические показатели на основе данных вызовов скорой помощи. Общая последовательность выполнения работ представлена на схеме (рис. 1).

Геохимический отбор почвенных проб проводился в 2011 г. на равномерно распределенных пробных площадках. Почвы аккумулируют загрязнение в течение всего времени хозяйственного освоения, имеют низкий уровень самоочищения и являются универсальным индикатором состояния окружающей природной среды. Это позволяет рассматривать состояние почвенного покрова как интегральный показатель экологической обстановки [Макаров, Кузнецова, 2002; Sun et al., 2019]. Пробы взяты с верхнего 10–20 см слоя. Этот слой является основным барьером на пути миграции элементов и может стать источником вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы. Всего отобрано 174

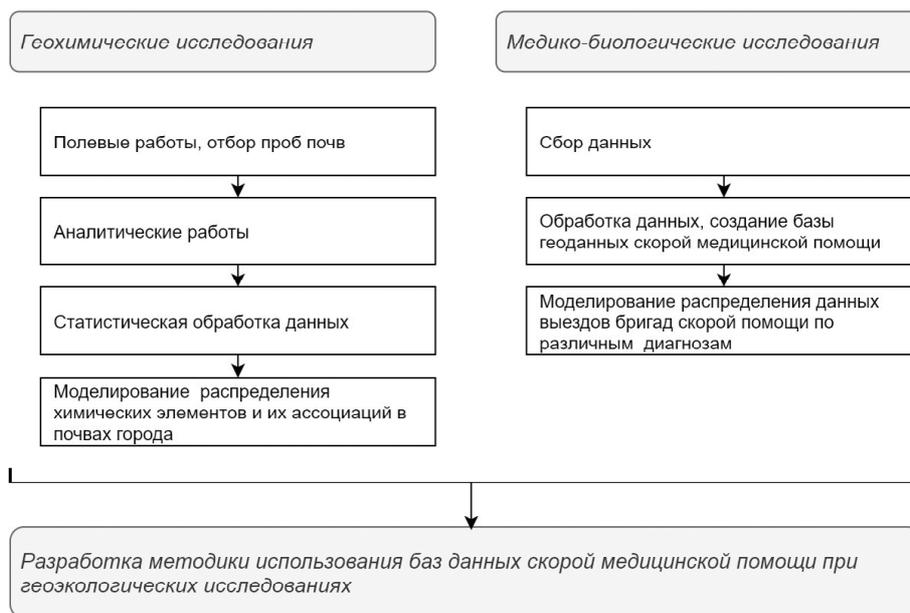


Рис. 1. Этапы выполнения работ

Fig. 1. Stages of research

пробы. Каждая точка отбора имеет координатную привязку.

Аналитические работы проведены на научном оборудовании ЦКП ФИЦ «Карельский научный центр РАН». На квадрупольном масс-спектрометре X-Series 2 (Thermo Fisher Scientific) определен спектр элементов в пробах.

Статистическая обработка геохимических данных включала расчет основных параметров описательной статистики. Распределения химических элементов проверены на нормальность, для приведения к нормальному закону распределения необходимые выборки подверглись логарифмическим преобразованиям. Содержание химических элементов сравнивались с фоновыми значениями для данной территории [Рыбаков и др., 2013] и предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для почв принятыми в гигиенических нормативах РФ.

Многомерный факторный анализ проведен с помощью метода главных компонент. Для повышения контрастности выполнено варимаксное вращение. Данный метод является эффективным способом улучшить понимание геохимических характеристик исследуемых объектов и позволяет из всего многообразия признаков выявить наиболее важные [Wang, 2017].

Интерполяционные модели распределения химических элементов и значений факторов созданы методом Natural Neighbour. Метод является простейшим инструментом интерполяции и подходит для задачи пространственного моделирования в рамках решаемых геоэкологических задач заданного масштаба [Ledoux et al., 2005].

Обезличенный каталог статистики вызовов скорой медицинской помощи за 2015 г. по данным диспетчерской службы Петрозаводской больницы скорой медицинской помощи представляет собой таблицу, столбцы которой содержат атрибутивную информацию об адресе, возрасте и поле пациента, дате и времени вызова, диагнозе заболевания. На первом этапе работы проведена корректировка каталога статистики данных БСМП. Удалены строки, атрибуты которых содержали некорректные значения. С большой вероятностью в эту группу попадали и ложные вызовы. Для координатной привязки вызовов взяты данные [OpenStreetMap, 2019]. По результатам исследования [Senaratne et al., 2017] они являются актуальными и надежными для урбанизированных территорий. В связи с тем, что вручную привязано менее 5% данных преимущественно из новых районов города, достоверность данных OSM подтверждается. Объединение атрибутивных информации позволяет не только задать координатную привязку, но и дополнить каталог вызовов новыми данными.

Объединенная база геоданных имеет формат точечного shp-файла, его структура представлена в табл. 1.

Пространственные распределения числа вызовов скорой помощи дают фактический материал для анализа и визуализации картины заболеваемости

городского населения, позволяют проводить количественные оценки, изучать влияние на заболеваемость территориальных факторов.

Модифицированная база данных дает возможность провести углубленный анализ распределения вызовов скорой помощи. По типу здания создаются выборки вызовов только в жилые дома, что в большей мере привязывает пациентов к месту основного проживания. Воздействие на физическое и психическое состояние работников способна оказывать их профессиональная деятельность. Поэтому анализ детской заболеваемости является более корректным [Wong et al., 2006]. Дети больше подвержены влиянию факторов среды, они привязаны к территории, профессиональное воздействие на них отсутствует.

Дети в возрасте младше 13 лет составили тестовую группу, для которой проведены расчеты корреляционных зависимостей между частотой вызовов по диагнозам болезней органов дыхания и пищеварения и геохимией почв.

Для оценки заболеваемости частота выездов бригад скорой помощи нормирована на количество жителей, проживающих в пределах данной территории. Учет численности населения проведен на основе расчетных данных, использующих площадь жилых зданий ( $S$ ), их этажность ( $l$ ). По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы на одного жителя в Северо-Западном федеральном округе РФ в среднем приходится 26 м<sup>2</sup> общей площади жилых помещений [Единая межведомственная ..., 2019]. Количество проживающих ( $P$ ) в ячейке вычисляется как

$$P = S(l/26).$$

Статистика распределения городского населения Республики Карелия по возрасту на 1 января 2016 г. свидетельствует о соотношении 5:1 взрослых и детей [Федеральная служба ..., 2019]. Эта пропорция учитывается в работе для определения численности детей (до 13 лет).

Для оценки территории по частоте вызовов используется отражение данных, распределенных по равномерным ячейкам (сегментам). Исследования проведены для ячеек размером 200×200 м и 500×500 м.

Основным программным продуктом для создания, обработки, визуализации данных в работе является QuantumGIS (QGIS) – свободная кроссплатформенная геоинформационная система [QGIS, 2019].

**Результаты и обсуждения.** Геохимические особенности почвенного покрова. Анализ геохимического состава почвенного покрова г. Петрозаводска выявил несколько основных элементов-загрязнителей, концентрация которых превышает ПДК и фоновые значения – Pb, Zn, Cd, Cu, Sb, Sn, Co, V, W (табл. 2). Предполагается комплексное поступление данных элементов в почвы города: частично это продукт аккумуляции элементов в морене и озёрно-ледниковых отложениях, слагающих осадочную толщу, частично – результат антропогенного воздействия.

Таблица 1

Структура базы данных вызовов скорой и неотложной медицинской помощи

Имя поля	Тип данных	Примеры значений	Комментарий	
X	Real		X-координата вызова (WGS84/ UTM zone 36N)	
Y	Real		Y-координата вызова (WGS84/ UTM zone 36N)	
B_OSM_ID	Integer		Идентификатор здания по данным OSM	
B_STRT	String		Название улицы	
B_HSNBR	String		Почтовый номер дома	
B_TIP	String		Тип здания	
		<i>Жилые</i>		
		apartments	Многоквартирный жилой дом	
		detached	Частный жилой дом	
		dormitory	Общежитие	
hotel	Гостиница			
house	Жилой дом			
residential	Общий тег для жилых зданий			
<i>Коммерческие</i>				
commercial	Коммерческие			
industrial	Промышленное здание			
office	Офис			
<i>Религия</i>				
church	Храм			
<i>Общественные</i>				
civic	Гражданское использование здания			
hospital	Больница			
kindergarten	Детский сад			
public	Общественное здание			
school	Школа			
train_station	Вокзал			
university	Вуз			
garages	Гараж			
service	Служебные постройки			
B_NAME	String		Название здания	
B_LEVELS	Integer		Этажность	
C_DPRM	String		Дата вызова в формате ггммдд	
C_TPRM	String		Время вызова в формате чч.мм	
C_VOZR	String		Возраст пациента	
C_POL	String		Пол пациента	
C_MKB	String		Код заболевания по международной классификации МКБ-10	

Наиболее распространенным элементом-загрязнителем является свинец (Pb). Техногенное загрязнение природной среды Pb происходит при сжигании топлива. Почвенный покров г. Петрозаводска имеет преимущественно низкий и средний уровень загрязнения Pb (рис. 2). Основными антропогенными источниками поступления цинка (Zn) являются металлургические предприятия. В центральной части города до 2000-х гг. действовала площадка Онежского тракторного завода, имеющая литейное производство, которое является антропогенным источником поступления элемента в экосистемы. Для

изучаемой территории значительная часть проб характеризуется высоким и очень высоким уровнем загрязнения по Zn (ПДК>3) (см. рис. 2). Местные фоновые значения содержания кадмия (Cd) (1,36 мг/кг) в г. Петрозаводске выше предельно-допустимых концентраций (1 мг/кг). Низкий уровень загрязнения почв Петрозаводска зафиксирован для Cu, Sb, Co, V, W. Лишь в нескольких пробах обнаруживаются их высокие концентрации (см. рис. 2).

При эколого-геохимических исследованиях информативными являются элементы различных классов экологической опасности, охватывающие глав-

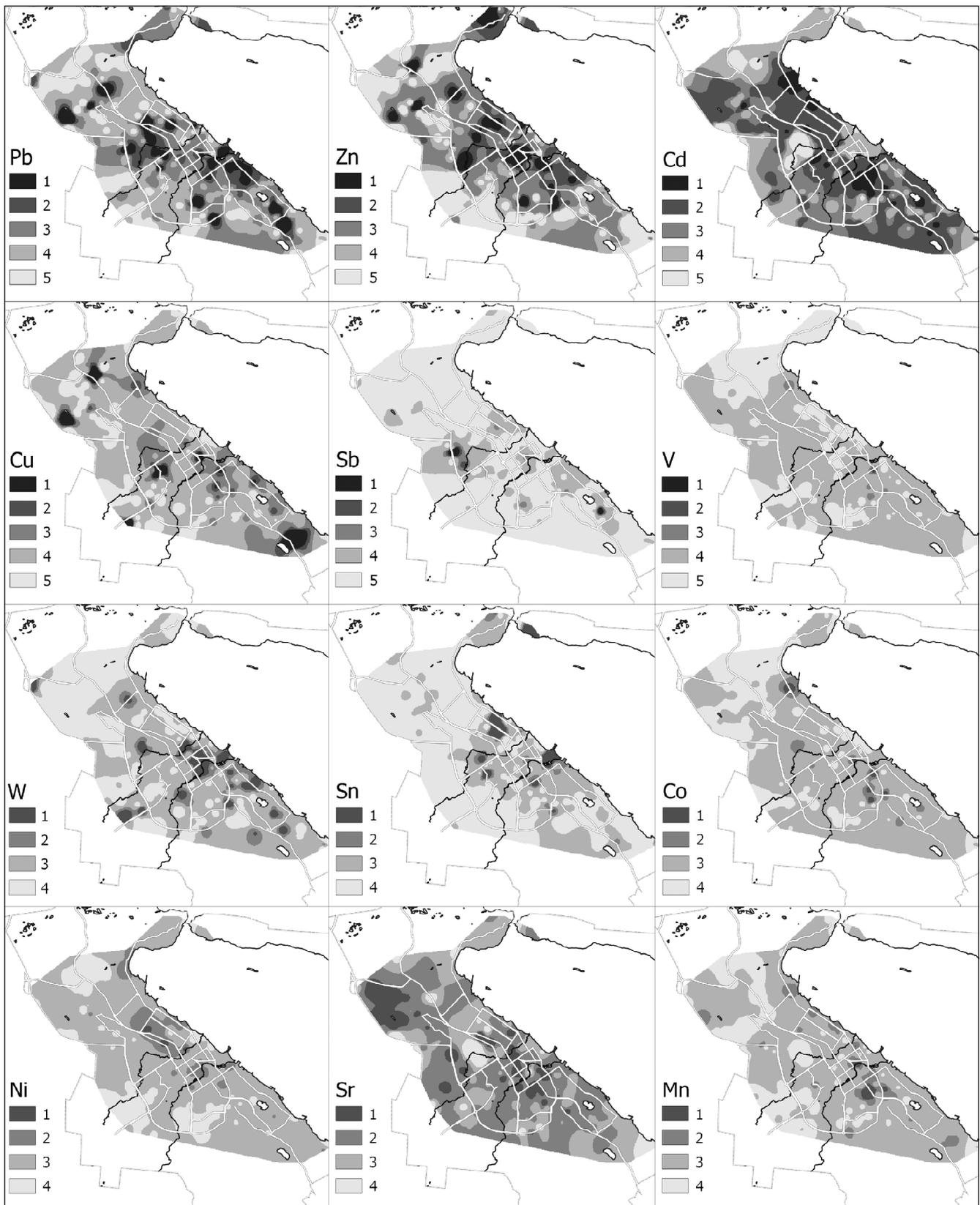


Рис. 2. Распределение микроэлементов в почвах г. Петрозаводска. Для Pb, Zn, Cd, Cu, Sb, V: 1 – более 3 ПДК, 2 – 2–3 ПДК, 3 – 1–2 ПДК, 4 – менее ПДК, 5 – до фоновых значений (ФЗ); для W, Sn, Co, Ni, Sr, Mn: 1 – >3ФЗ, 2 – 2–3 ФЗ, 3 – 1–2 ФЗ, 4 – менее ФЗ

Fig. 2. Distribution of trace elements in soils of Petrozavodsk. For Pb, Zn, Cd, Cu, Sb and V: 1 – >3 MAC, 2 – 2–3 MAC, 3 – 1–2 MAC, 4 – <1 MAC, 5 – background values (BV); for W, Sn, Co, Ni, Sr and Mn: 1 – >3BV, 2 – 2–3 BV, 3 – 1–2 BV, 4 – <1 BV

Таблица 2

Статистические характеристики основных загрязняющих элементов почв

Параметры	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb
	мг/кг												
Среднее	73,5	38,3	520,5	8,9	25,5	47,4	114,8	1,8	1,5	3,1	1,0	1,4	36,7
Стандартная ошибка	2,3	1,1	18,4	0,3	0,8	3,4	6,1	0,1	0,0	0,4	0,1	0,1	2,7
Медиана	66,1	34,2	445,6	8,1	22,0	38,2	92,5	1,2	1,5	2,1	0,7	1,0	25,8
Стандартное отклонение	29,6	14,1	241,9	4,0	10,9	44,7	80,4	1,9	0,4	5,2	0,9	1,2	36,1
Минимум	34,7	10,6	89,0	1,4	9,7	13,4	21,6	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3	9,0
Максимум	268,5	90,6	1708,2	27,7	68,2	395,2	499,7	14,1	2,9	49,4	5,9	8,7	218,2
Местный фон	64,1	30,6	403,9	7,1	19,3	32,1	82,8	1,5	1,36	2,6	1,3	3,1	20,9
ПДК	150	–	–	–	–	55	100	–	1	–	4,5	–	32

ные геохимические классы – халькофильный, сидерофильный, литофильный [Гинзбург, Токавищев, 2012]. Для проведения факторного анализа в исходную выборку включены V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Pb, Cs, Ba, Tl, U. Факторный анализ выявил 3 фактора, оказывающие влияние на распределение элементов в почвах города. Суммарный вклад факторов составляет 67,4% от общей дисперсии исходных данных.

Первый фактор с нагрузкой 44,4% представлен группой преимущественно литофильных элементов – Sr (0,82), Cs (0,81), Ba (0,82), Cd (0,59), Cr (0,51), Tl (0,49), U (0,47), Co (0,46). Этот фактор хорошо коррелируется с геологическим строением территории и отражает состав почвообразующих пород (рис. 3А). Для фактора 2 характерны значительные

положительные нагрузки на группу халькофильных элементов: Sb (0,86), Pb (0,86), Sn (0,83), Zn (0,69), Cu (0,48). На него приходится 14,0% суммарной дисперсии. Положительные значения фактора приурочены к центральной селитебной части. Накопление этих элементов обуславливается техногенным воздействием (рис. 3Б). Отмечается, что в новых районах города этот фактор имеет низкие значения, так как время воздействия и период накопления загрязняющих веществ здесь меньше, чем для центральной части города. Нагрузка фактора 3 составляет 9,0%. Он объединяет такие элементы, как Mo (0,87), Ni (0,87), Cr (0,74). Области с максимальными значениями этого фактора приурочены к трансаккумулятивным ландшафтам, минимальные значения тя-

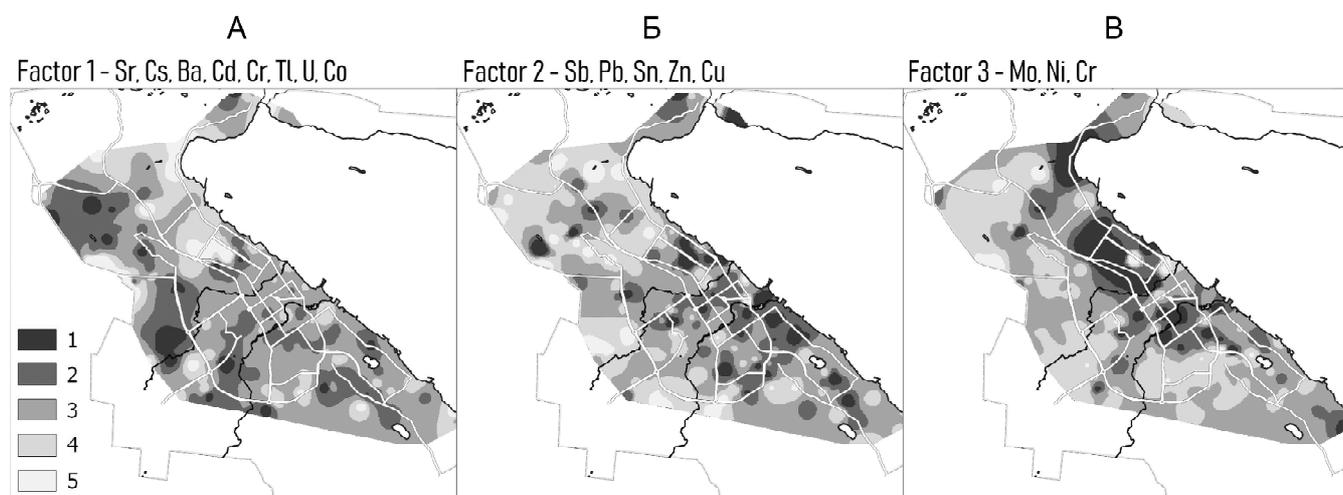


Рис. 3. Распределение значений факторных нагрузок: А – фактор 1, Б – фактор 2, В – фактор 3, значения фактора: 1 – более 1; 2 – (0,3...1); 3 – (-0,3...0,3); 4 – (-1...-0,3); 5 – менее -1

Fig. 3. Distribution of factor loadings: А – factor 1, Б – factor 2, В – factor 3, factor values: 1 – >1; 2 – 0,3...1; 3 – (-0,3...0,3); 4 – (-1...-0,3); 5 – <-1

готовят к трансэлювиальным ландшафтам (рис. 3В). Содержание этих элементов определяется как природными, так и техногенными факторами.

*Характеристика заболеваемости детей.* В работе проведен анализ заболеваемости по двум размерностям ячейки. Пространственное распределение частоты выездов бригады скорой помощи для сети 200×200 м представлено на рис. 4, по сети 500×500 м на рис. 5.

Загрязненные почвы оказывают как прямое, так и косвенное действие на организм и здоровье человека. Прямое воздействие связано с поступлением пыли через дыхательные пути или при непосредственном контакте с почвами и грунтами, особенно на игровых площадках [Косинова и др., 2007], косвенное – путем приема в пищу агрокультур, выращенных на этих почвах.

Для возможности сопоставления данных геохимические интерполяционные пространственные модели пересчитаны в сегментированные модели. Каждой ячейке присваивается среднее значение геохимического признака. Сравнение данных по заболеваемости за 2015 г. с геохимическими параметрами почв за 2011 г. является корректным в связи с тем, что самоочищение почв происходит достаточно медленно, а уровень их загрязнения отражает общую экологическую обстановку в пределах территории.

Корреляционный ранговый анализ Спирмена выявил слабую взаимосвязь между распределением ассоциаций химических элементов и частотой вызовов бригад скорой помощи (табл. 3). Нормированные значения вызовов практически не имеют связи с распределением химических элементов.

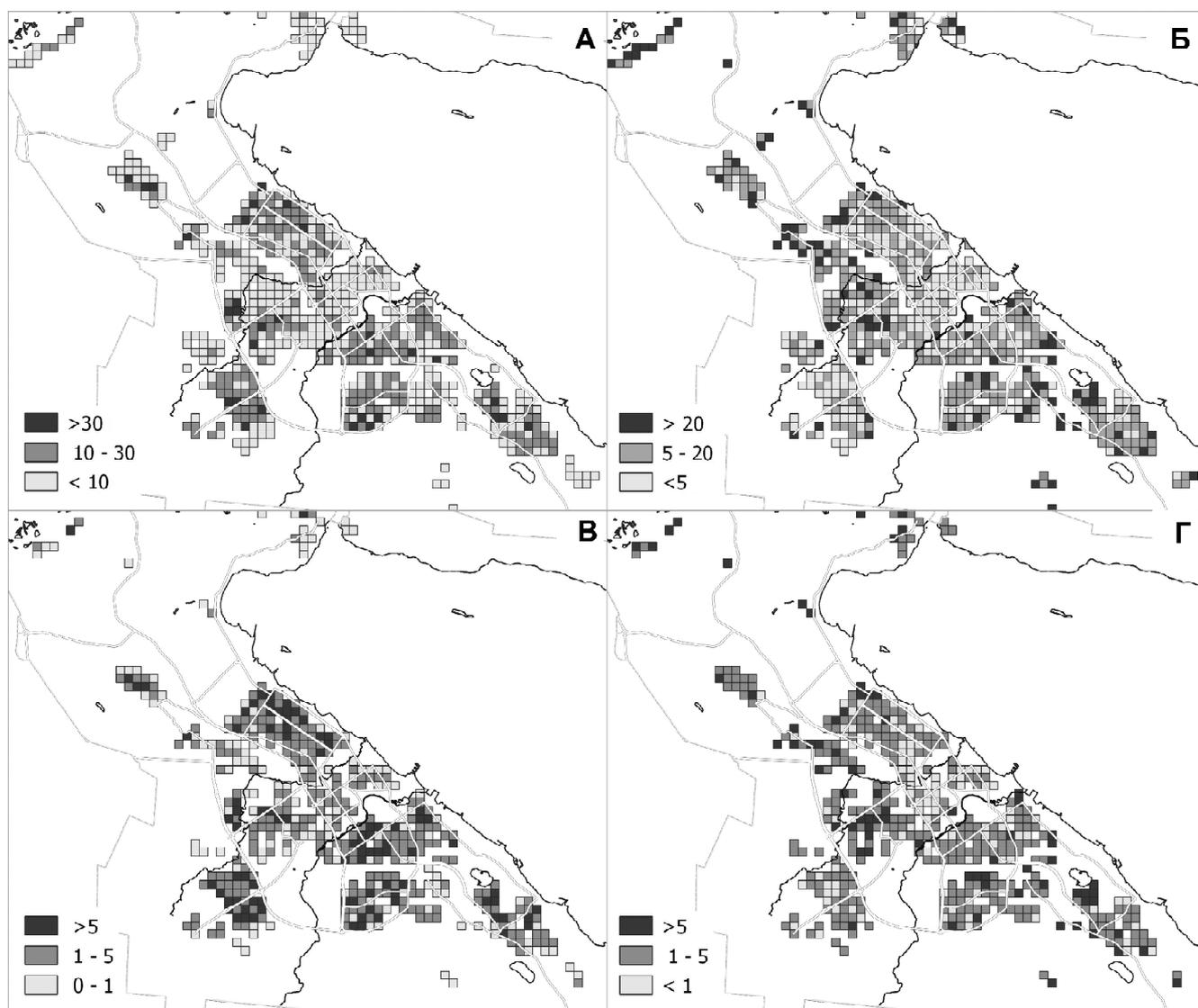


Рис. 4. Распределение вызовов скорой помощи для детей по ячейкам 200×200 м: А – болезни органов дыхания, число вызовов; Б – болезни органов дыхания, вызовы на 100 детей; В – болезни органов пищеварения, число вызовов; Г – болезни органов пищеварения, вызовы на 100 детей

Fig. 4. Distribution of ambulance calls for children over 200×200 m cells. А – diseases of respiratory organs, number of calls; Б – diseases of respiratory organs, calls per 100 children; В – diseases of digestive organs, number of calls; Г – diseases of digestive organs, calls per 100 children

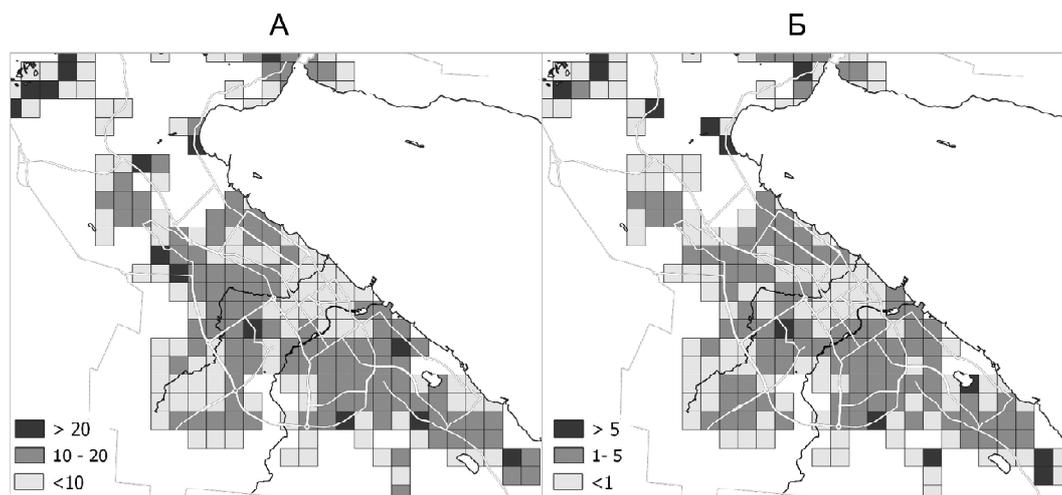


Рис. 5. Распределение частоты выездов бригад скорой помощи детям по ячейкам 500×500 м: А – болезни органов дыхания, вызовы на 100 детей; Б – болезни органов пищеварения, вызовы на 100 детей

Fig. 5. Distribution of emergency team calls for children over 500×500 m cells. А – diseases of respiratory organs, calls per 100 children; Б – diseases of digestive organs, calls per 100 children

Разница между абсолютными и нормированными значениями связана с тем, что зоны техногенного загрязнения тяготеют к центральным частям города, где фиксируется высокая плотность населения и возрастает количество вызовов скорой помощи. Для расчетов по укрупненной сети 500×500 м обнаружена корреляционная зависимость (выше критических значений) вызовов скорой помощи от содержания технофильных элементов в почвах города. Это связано с тем, что дети перемещаются в пространстве – школы, детские сады, игровые площадки расположе-

ны на удалении от места жительства. Коэффициенты корреляции выше для болезней органов пищеварения и ассоциацией элементов, объединенных фактором 2 и 3. Взаимосвязь между природным накоплением элементов в почвах и увеличением заболеваемости прослежена слабее техногенного фактора.

Если рассматривать влияние отдельных химических элементов в почве и заболеваемость детей, то отмечается, что наибольшее воздействие на болезни органов пищеварения оказывают Cd, Co, Zn, Sb, Pb, V. На частоту вызовов с диагнозами болез-

Таблица 3

Матрица коэффициентов корреляции Спирмена частоты вызовов скорой медицинской помощи детям до 13 лет и геохимических данных

Химические элементы и их ассоциации	Вызовы по заболеваниям органов		Вызовы на 100 чел. по заболеваниям органов	
	дыхания	пищеварения	дыхания	пищеварения
200×200 м, n=756, r <sub>kr</sub> =0,08, p=0,05				
Фактор 1	-0,04	-0,10	0,04	-0,07
Фактор 2	0,10	0,08	0,03	0,07
Фактор 3	0,09	0,12	0,01	0,08
500×500 м, n=197, r <sub>kr</sub> =0,14, p=0,05				
Фактор 1	0,03	0,00	0,07	0,00
Фактор 2	0,25	0,28	0,03	0,15
Фактор 3	0,09	0,15	0,04	0,16
Cd	0,29	0,29	0,18	0,20
Co	0,21	0,22	0,19	0,23
Cu	0,22	0,23	0,16	0,19
Pb	0,24	0,27	0,02	0,16
Sb	0,35	0,36	0,08	0,18
Sn	0,15	0,19	0,01	0,12
V	0,16	0,17	0,16	0,18
W	0,16	0,20	0,00	0,10
Zn	0,30	0,32	0,09	0,20

ней органов дыхания влияет Cd, Co, Cu, V. В значительной мере высокие концентрации этих элементов характерны для автотранспортного загрязнения. В пределах селитебных районов часто сформированы условия, где транспорт из-за частых пробок и работы на холостом ходу увеличивает уровень загрязнения окружающей среды. Низкие значения коэффициентов корреляции между геохимическими параметрами среды и заболеваемостью обусловлены множественностью факторов, оказывающих влияние на состояние человека.

#### Выводы:

– база данных скорой медицинской помощи является значимым источником информации при геоэкологических исследованиях урбанизированных территорий. Модифицированная за счет приращения информации от общедоступных данных, она позволяет формировать выборки по данным места вызова, различным демографическим и социально значимым параметрам, что важно для решения геоэкологических задач. Результаты исследования подтверждают перспективность проведения пространственной экологической оценки на основе статистики скорой и неотложной медицинской помощи. Они показали связь между загрязнением почв тяжелыми металлами и

частотой вызовов скорой медицинской помощи детям до 13 лет. При этом загрязнение почвенного покрова оказывает наибольшее влияние на частоту заболеваемости органов пищеварения;

– методика районирования территории города по частоте вызовов скорой медицинской помощи на основе сети равномерно распределенных ячеек позволяет сопоставить разнородные пространственные данные на детальном уровне. Определено, что для Петрозаводска оптимально проводить геоэкологические исследования на основе данных по заболеваемости населения, рассчитанных по равномерной сети ячеек размером 500×500 м;

– совместное использование медицинских и геохимических баз геоданных дает возможность оценивать благополучность городских территорий по степени экологического отклика. Здоровье населения выступает как интегральный показатель благоприятности условий проживания;

– разработанный проект может использоваться как инструмент территориального геоэкологического менеджмента урбанизированных территорий, позволяющий обеспечивать поддержку принятия решений на уровне муниципального управления и медицинских учреждений.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках госзадания ИГ КарНЦ РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глотов А.А. Медицинская ГИС – основа интегральной оценки благополучия региона // *Геоматика*. 2013. № 3. С. 45–49.
- Косинова И.И., Крутских Н.В., Кустова Н.П. Техногенное преобразование природной среды территории г. Воронежа и его экологические последствия. М.: РГОТУПС, 2007. 172 с.
- Кустов М.В. Комплексная эколого-географическая характеристика урбанизированных территорий с использованием геоинформационных технологий (на примере г. Саранска) // *Вестник Мордовского университета*. 2008. № 1. С. 112–118.
- Макаров О.А., Кузнецова Т.Н. Оценка экологического состояния почвенных и земельных ресурсов Московской области // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2002. № 2. 33 с.
- Медико-экологический атлас Воронежской области / Под общ. ред. С.А. Куролапа, Н.П. Мамчика, О.В. Клепикова. Воронеж: Истоки, 2010. 167 с.
- Москаленко О.П., Портняга Д.Н. Медико-экологический блок базы данных региональной ГИС // *Вестник Брянского гос. ун-та*. 2011. № 4. С. 220–227.
- Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Окружающая среда и здоровье: приоритеты профилактической медицины // *Гигиена и санитария*. 2014. № 5(93). С. 5–10.
- Рыбаков Д.С., Крутских Н.В., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б., Слуковский З.И., Кричевцова М.В., Лазарева О.В. Климатические и геохимические аспекты формирования экологических рисков в республике Карелия. Санкт-Петербург, 2013. 130 с.
- Трофимов В.Т., Куриленко В.В. Экологические функции биотических сфер Земли: содержание и значение для становления нового теоретического базиса геоэкологии // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. География*. 2015. № 3. С. 93–102.
- Черешнев В.А., Гамбурцев А.Г. Экология, мониторинг и здоровье людей // *Вестник Российской академии наук*. 2017. Т. 87. № 2. С. 121–129.
- Яблоков В.М. Геоинформационный анализ структуры и динамики природно-экологического каркаса Москвы на основе открытых геоданных // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2018. № 1. С. 42–48.
- Aghajani J., Farnia P., Velayati A. Impact of geographical information system on public health sciences. *Biomedical and Biotechnology Research Journal (BBRJ)*, 2017, vol. 1, no. 2, p. 94.
- Kistemann T., Dangendorf F., Schweikart J. New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2002, vol. 205 no. 3, p. 169–181.
- Ledoux H., Gold C. An Efficient Natural Neighbour Interpolation Algorithm for Geoscientific Modelling. *Developments in Spatial Data Handling*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2005, p. 97–108.
- Maantay J. Asthma and air pollution in the Bronx: Methodological and data considerations in using GIS for environmental justice and health research. *Health & Place*. Pergamon, 2007, vol. 13, no. 1, p. 32–56.
- Nuvolone D., Maggiore, R., Maio S., Fresco R. Geographical information system and environmental epidemiology: a cross-sectional spatial analysis of the effects of traffic-related air pollution on population respiratory health. *Environmental Health, BioMed Central*, 2011, vol. 10, no. 1, p. 12. DOI: 10.1186/1476-069X-10-12.
- Senaratne H., Mobasherib A., Alic A.L., Capinerie C., Haklay M. A review of volunteered geographic information quality assessment methods. *International J. Geographical Information Science*, 2017, vol. 31, no. 1, p. 139–167. DOI: 10.1080/13658816.2016.1189556.
- Shalyari N., Alinejad A., Hashemi A.H.G. et al. Health Risk Assessment of Nitrate in Groundwater Resources of Iranshahr Using Monte Carlo Simulation and Geographic Information System (GIS). *MethodsX*, 2019, vol. 6, p. 1812–1821.

Silva F.B.V., Nascimento C.W.A., Araújo P.R.M., Silva F. L., Lima L.H.V. Soil contamination by metals with high ecological risk in urban and rural areas. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2014, vol. 14, no. 3, p. 553–562.

Stewart O.T., Carlos H.A., Lee C., Berke E.M., Hurvitz P.M., Li L., Moudon A.V., Doescher M.P. Secondary GIS built environment data for health research: Guidance for data development. *Journal of Transport & Health*. Elsevier, 2016, vol. 3, no. 4, p. 529–539. DOI: 10.1016/j.jth.2015.12.003.

Sun Y., Li H., Guo G., Semple K.T., Jones K.C. Soil contamination in China: Current priorities, defining background levels and standards for heavy metals. *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 251, 109512. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109512.

Verhaegh B., Beijens E., van den Heuvel T., Goudkade D., Zeegers M., Nawrot T. et al. Ambient air quality as risk factor for microscopic colitis – A geographic information system (GIS) study. *Environmental Research*, 2019, vol. 178, 108710. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108710.

Wang J., Zuo R., Caers J. Discovering geochemical patterns by factor-based cluster analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 181, p. 106–115.

Wong C.S.C., Li X., Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 142, p. 1–16.

#### Электронные ресурсы

Гинзбург Л.Н., Токавицев И.А. Многомерный анализ геохимических данных Европы (геохимическое районирование и оценка экологического состояния). М.: ЗАО «Пангея», 2012. URL: [http://www.pangea.ru/ru/img\\_content/public/Europa\\_Pangea-2012.pdf](http://www.pangea.ru/ru/img_content/public/Europa_Pangea-2012.pdf) (дата обращения 19.12.19).

Гребенюк А.Н., Мерабишвили В.М., Мусийчук Ю.И., Попов Г., Струков Д.Р. Использование подходов медицинской географии при экологической оценке крупного мегаполиса // ArcReview. ГИС в здравоохранении и медицине. 2012. № 1. URL: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=6522&SECTION\\_ID=221](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=6522&SECTION_ID=221) (дата обращения 19.12.19).

Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/40466> (дата обращения 19.12.19).

Федеральная служба государственной статистики. Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2016 года. URL: [https://www.gks.ru/bgd/regl/B16\\_111/Main.htm](https://www.gks.ru/bgd/regl/B16_111/Main.htm) (дата обращения 19.12.19).

OpenStreetMap (OSM). URL: <https://www.openstreetmap.org> (дата обращения 19.12.19).

QGIS. Свободная географическая информационная система с открытым кодом. URL: <https://qgis.org> (дата обращения 19.12.19).

Поступила в редакцию 31.03.2019

После доработки 25.07.2019

Принята к публикации 06.07.2020

N.V. Krutskikh<sup>1</sup>, B.Z. Belashev<sup>2</sup>

#### DATABASE OF AMBULANCE CALLS AS AN INFORMATION BASIS FOR THE GEOECOLOGICAL STUDY OF URBANIZED AREAS

The use of emergency ambulance call data as a detailed basis for the geoeological study of urbanized areas is discussed. The study was performed for a large northern city of Petrozavodsk. The study has two information blocks, i. e. geochemical and medico-biological. Geochemical data show chemical element concentrations in the urban soil cover. Several basic pollutants with concentrations above the maximum allowable levels and background values were revealed (Pb, Zn, Cd, Cu, Sb, Sn, Co, V, W). Element associations in soils, which are due to various accumulation factors, were identified. The medico-biological block is based on the geo-database on emergency calls. The geo-database includes information about the diagnosis, age and sex of a patient and the date and time of a call. OpenStreetMap information is used to geo-code the calls and supplement them with the characteristics of buildings. According to the type of building the calls from the residential premises only are selected in order to link the patients to their place of residence. Segmented call distribution models are employed for spatial visualization. Sickness cases are calculated by two segment sizes, i. e. 200x200 m and 500x500 m. An index calculated from the open source data about the residential area and the average living area per 1 person is used for normalizing per the number of residents. The elaborated models could be used for the study of intra-system links by analyzing the emergency calls for different groups of patients and various diagnoses. The comparison of geochemical and medical spatial data contributed to the analysis of the effect of soil pollution on the population health in the «children under 13» age group with the diseases of respiratory and digestive organs. It was revealed that the most often response of soil pollution with heavy metals is an increasing number of digestive organ diseases in children.

*Key words:* GIS, database, spatial data, disease rate of population, ambulance calls, soil pollution, urbanized areas

*Acknowledgements.* The study was performed under the state assignment of the Institute of Geography, KarRC of RAS.

<sup>1</sup> Institute of Geology, KarRC, RAS, FIC Karelian Research Centre, RAS, Geoinformation Centre, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geology and Mineralogy; *e-mail:* natkrut@gmail.com

<sup>2</sup> Institute of Geology, KarRC, RAS, FIC Karelian Research Centre, RAS, Laboratory of Geophysics, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Engineering; *e-mail:* belashev@krc.karelia.ru

## REFERENCES

- Aghajani J., Farnia P., Velayati A. Impact of geographical information system on public health sciences. *Biomedical and Biotechnology Research Journal (BBRJ)*, 2017, vol. 1, no. 2, 94 p.
- Chereshnev V.A., Gamburtsev A.G. Ekologiya, monitoring i zdorov'e lyudej [Ecology, monitoring and human health] *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2017, vol. 87, no. 2, p. 121–129. (In Russian)
- Glotov A.A. Meditsinskaya GIS – osnova integralnoj otcenki blagopoluchiya regiona [Medical GIS as a basis of the integral assessment of regional well-being] *Geomatika*, 2013, no. 3, p. 45–49. (In Russian)
- Kistemann T., Dangendorf F., Schweikart J. New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2002, vol. 205, no. 3, p. 169–181.
- Kosinova I.I., Krutskikh N.V., Kustova N.R. Tekhnogennoe preobrazovanie prirodnoj sredy territorii g. Voronezha i ego ekologicheskie posledstviya [Technogenic transformation of the natural environment within the territory of Voronezh city and its environmental effects]. M., RGOTUPS, 2007, 172 p. (In Russian)
- Kustov M.V. Kompleksnaya ekologo-geograficheskaya kharakteristika urbanizirovannykh territorij s ispolzovaniem geoinformatsionnykh tekhnologij (na primere g. Saranska) [Integrated ecological and geographical characteristics of urbanized territories using geoinformation technologies (case study of the city of Saransk)]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*, 2008, no. 1, p. 112–118. (In Russian)
- Ledoux H., Gold C. *An Efficient Natural Neighbour Interpolation Algorithm for Geoscientific Modelling*. Developments in Spatial Data Handling. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2005, p. 97–108.
- Maantay J. Asthma and air pollution in the Bronx: Methodological and data considerations in using GIS for environmental justice and health research. *Health & Place*. Pergamon, 2007, vol. 13, no. 1, p. 32–56.
- Makarov O.A., Kuznetsova T.N. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvennykh i zemelnykh resursov Moskovskoi oblasti [Assessment of the ecological state of soil and land resources of the Moscow region] *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvedenie*, 2002, no. 2, 33 p. (In Russian)
- Mediko-ekologicheskij atlas Voronezhskoy oblasti [Medical and environmental atlas of the Voronezh region] / Pod red. S.A. Kurolopa, N.P. Mamchika, O.V. Klepikova. Voronezh: Istoki, 2010, 167 p. (In Russian)
- Moskalenko O.P., Portnaya D.N. Mediko-ekologicheskij blok bazy dannykh regional'noj GIS [Medical-ecological block of the regional GIS database] *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 4, p. 220–227. (In Russian)
- Nuvolone D., Maggiore, R., Maio S. et al. Geographical information system and environmental epidemiology: a cross-sectional spatial analysis of the effects of traffic-related air pollution on population respiratory health. *Environmental Health. BioMed Central*, 2011, vol. 10, no. 1, 12 p.
- Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I. Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e: priority profylakticheskoy meditsiny [Environment and health: priorities for preventive medicine] *Gigiena i sanitariya*, 2014, no. 5(93), p. 5–10. (In Russian)
- Rybakov D.S., Krutskikh N.V., Shelekhova T.S., Lavrova N.B., Slukovskiy Z.I., Krichevtsova M.V., Lazareva O.V. Klimaticheskie i geokhimicheskie aspekty formirovaniya ekologicheskikh riskov v respublike Kareliya [Climatic and geochemical aspects of the formation of environmental risks in the Republic of Karelia]. Sankt-Peterburg, 2013, 130 p.
- Senaratne H. et al. A review of volunteered geographic information quality assessment methods. *International J. Geographical Information Science*, 2017, vol. 31, no. 1, p. 139–167.
- Shalyari N., Alinejad A., Hashemi A.H.G. et al. Health Risk Assessment of Nitrate in Groundwater Resources of Iranshahr Using Monte Carlo Simulation and Geographic Information System (GIS) *MethodsX*, 2019, vol. 6, p. 1812–1821.
- Silva F.B.V., Nascimento C.W.A., Araújo P.R.M., Silva F.L., Lima L.H.V. Soil contamination by metals with high ecological risk in urban and rural areas. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2014, vol. 14, no. 3, p. 553–562
- Stewart O.T. et al. Secondary GIS built environment data for health research: Guidance for data development. *Journal of Transport & Health*. Elsevier, 2016, vol. 3, no. 4, p. 529–539.
- Sun Y., Li H., Guo G., Semple K.T., Jones K.C. Soil contamination in China: Current priorities, defining background levels and standards for heavy metals. *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 251, 109512.
- Trofimov V.T., Kurilenko V.V. Ekologicheskie funktsii abioticheskikh sfer Zemli: sodержanie i znachenie dlya stanovleniya novogo teoreticheskogo bazisa geokologii [Ecological functions of abiotic spheres of the Earth: substance and significance for the formation of a new theoretical basis of geoecology] *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2015, no. 3, p. 93–102.
- Verhaegh B., Beijens E., van den Heuvel T., Goudkade D., Zeegers M., Nawrot T., et al. Ambient air quality as risk factor for microscopic colitis – A geographic information system (GIS) study. *Environmental Research*, 2019, vol. 178, 108710.
- Wang J., Zuo R., Caers J. Discovering geochemical patterns by factor-based cluster analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 181, p. 106–115.
- Wong C.S.C., Li X., Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 142, p. 1–16.
- Yablokov V.M. Geoinformatsionnyj analiz struktury i dinamiki prirodno-ekologicheskogo karkasa Moskvy na osnove otkrytykh geodannykh [GIS-based analysis of structure and dynamics of the Moscow urban environmental infrastructure using the open geodata] *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 1, p. 42–48.

## Web-sources

- Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema (EMISS) [Unified Interdepartmental Information and Statistical System] URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/40466> (access date 19.12.19). (In Russian)
- Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Chislennost' naseleniya Rossijskoj Federatsii po polu i vozrastu na 1 yanvarya 2016 goda [Federal State Statistics Service. Population of the Russian Federation by gender and age as of January 1, 2016] URL: [https://www.gks.ru/bgd/regl/B16\\_111/Main.htm](https://www.gks.ru/bgd/regl/B16_111/Main.htm) (access date 19.12.19).
- Ginzburg L.N., Tokavischev I.A. Mnogomernyy analiz geokhimicheskikh dannykh Evropy (geokhimicheskoe raionirovanie i otsenka ekologicheskogo sostoyaniya) [Further analysis of geochemical data in Europe (geochemical zoning and environmental assessment)]. Moscow, ZAO «Pangeya», 2012. URL: [http://www.pangea.ru/ru/img\\_content/public/Europa\\_Pangea-2012.pdf](http://www.pangea.ru/ru/img_content/public/Europa_Pangea-2012.pdf) (access date 19.12.19). (In Russian)
- Grebeniuk A.N., Merabishvili V.M., Musiichuk Iu.I., Popov G., Strukov D.R. Ispolzovanie podkhodov meditsinskoi geografii pri ekologicheskoi otcenke krupnogo megapolisa [Using approaches of medical geography in the environmental assessment of a large metropolis] // GIS v zdravookhraneni i meditsine, 2012, no. 1. (In Russian) URL: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=6522&SECTION\\_ID=221](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=6522&SECTION_ID=221) (access date 19.12.19). (In Russian)
- OpenStreetMap (OSM) URL: <https://www.openstreetmap.org> (access date 19.12.19).
- QGIS. A Free and Open Source Geographic Information System. URL: <https://qgis.org> (access date 19.12.19).

Received 31.03.2019

Revised 25.07.2019

Accepted 06.07.2020