

УДК: 504.75

DOI: [10.46698/VNC.2021.98.22.012](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.98.22.012)

Оригинальная статья

Разработка карт индекса канцерогенного риска территории г. Владикавказа

В.Б. Заалишвили , О.Г. Бурдзиева , А.С. Кануков , Л.В. Дзобелова 

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: vzaal@mail.ru

Статья поступила: 27.10.2021, после рецензирования: 24.11.2021, принята к публикации: 30.11.2021

Резюме: Актуальность работы. В последние годы наблюдается значительный рост численности населения, которому соответствуют ускоренные темпы индустриализации. Это сопровождается всё более значительным загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами. Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды Республики Северная Осетия – Алания долгие годы вносила горнодобывающая промышленность, в последнее же время к ней, в качестве не менее весомого источника загрязнения присоединились нестационарные источники. Загрязнение тяжелыми металлами создает серьезную опасность для здоровья населения и окружающей среды из-за их токсичной природы. Цель исследования. Разработка карт пространственного распределения загрязняющих веществ является основой в оценке уровня загрязнения окружающей среды. **Цель настоящего исследования** – разработка карт индекса канцерогенного риска и установление его взаимосвязи с онкозаболеваемостью населения. **Методы исследования.** В процессах создания карт используются методы интерполяции, так как количество проб и измерений содержания вредных веществ в той или иной среде, как правило, весьма ограничено. Согласно зарубежным исследованиям, для большинства наиболее часто используемых методов интерполяции обеспечивается одинаково высокая точность. В настоящей работе при расчёте индексов канцерогенного риска использовался метод обратного взвешивания расстояний. **Результаты работы.** Отобран материал по заболеваемости населения злокачественными образованиями по различным районам г. Владикавказа. Основным удельный вес вновь зарегистрированных злокачественных новообразований приходится на возрастные группы свыше 60 лет. Анализ онкозаболеваемости показал, что в тех районах г. Владикавказа, где уровень загрязнения окружающей среды выше, выше и показатели онкозаболеваемости. Проведен расчёт индекса риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду. По всем исследуемым показателям наблюдается значительное превышение предельно допустимых значений, за исключением ртути. Полученные данные о высоком уровне канцерогенного риска согласуются с высоким уровнем онкологической заболеваемости на территории города, что говорит о тесной взаимосвязи заболеваемости и индекса канцерогенного риска.

Ключевые слова: горный регион, добыча полезных ископаемых, тяжелые металлы, загрязнение окружающей среды, онкозаболеваемость, индекс канцерогенного риска.

Для цитирования: Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Кануков А.С., Дзобелова Л.В. Разработка карт индекса канцерогенного риска территории г. Владикавказа. Геология и геофизика Юга России. 2021. 11(4): 147-160. DOI: [10.46698/VNC.2021.98.22.012](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.98.22.012).

[DOI: 10.46698/VNC.2021.98.22.012](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.98.22.012)

Original paper

Development of cancerogenic risk index maps for the territory of Vladikavkaz

V.B. Zaalishvili , O.G. Burdzieva , A.S. Kanukov , L.V. Dzobelova 

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a
Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: vzaal@mail.ru

Received: 27.10.2021, revised: 24.11.2021, accepted: 30.11.2021

Abstract: Relevance. In recent years, there has been a significant increase in the population, which is matched by the accelerated rate of industrialization. This is accompanied by increasingly significant pollution of the environment with heavy metals. For many years, the mining industry has made the greatest contribution to the environmental pollution of the Republic of North Ossetia – Alania, non-stationary sources have recently joined as an equally significant source of pollution. Heavy metal pollution poses a serious threat to public health and the environment due to its toxic nature. **Aim.** The development of maps of the spatial distribution of pollutants is the basis for assessing the level of environmental pollution. The aim of this study is to develop maps of the carcinogenic risk index and to establish its relationship with the incidence of cancer in the population. **Methods.** In the process of creating maps, interpolation methods are used, since the number of samples and measurements of the content of harmful substances in a particular environment is usually very limited. According to foreign studies, for most of the commonly used interpolation methods, equally high accuracy is provided. In the present work, we used the method of the inverse weighting of distances for calculating the indices of carcinogenic risk. **Results.** The material on the incidence of malignant neoplasms in the population in various districts of Vladikavkaz was selected. The main share of newly registered malignant neoplasms falls on the age groups over 60 years old. The analysis of cancer morbidity showed that in those areas of Vladikavkaz where the level of environmental pollution is higher, the indicators of cancer morbidity are also higher. The calculation of the risk index for public health under the influence of chemical substances polluting the environment has been carried out. For all the studied indicators, there is a significant excess of the maximum permissible values, with the exception of mercury. The obtained data on the high level of carcinogenic risk is consistent with the high level of cancer incidence in the city; it indicates a close relationship between the incidence and the carcinogenic risk index.

Keywords: mountainous region, mining, heavy metals, environmental pollution, cancer morbidity, carcinogenic risk index.

For citation: Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Kanukov A.S., Dzobelova L.V. Development of cancerogenic risk index maps for the territory of Vladikavkaz. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 147-160. DOI: 10.46698/VNC.2021.98.22.012.

Введение

Загрязнение окружающей среды в Республике Северная Осетия-Алания происходит от стационарных и передвижных источников. К стационарным источникам относятся предприятия промышленности, которые в республике представлены такими отраслями как цветная металлургия, машиностроения и металлообработки, электроэнергетика, топливная промышленность, лесная и деревообрабатывающая промышленность, производство строительных материалов [Borshevsky et al., 2017; Zaalishvili et al., 2014]. Основными стационарными источниками выбросов в атмосферу являются предприятия металлургической промышленности [Алборов, Заалишвили, 2021]. Большой вклад в загрязнение окружающей среды вносят пере-

движные источники, в частности автомобильный транспорт, количество которого из года в год растет быстрыми темпами [Бекузарова и др., 2020].

Наиболее остро строит проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [Иванов и др., 2020; Джгмадзе, Гогичев, 2020], так как в отличие от иных загрязнителей, имеющих органическую природу, металлы невозможно разложить до безопасных химических соединений, как в случае в органикой, а лишь преобразовать в менее токсичную форму. Как известно, содержание металлов в почве представляет собой сумму содержания металлов, поступающих в почву из-за природных процессов и человеческой деятельности [Стогний и др., 2021]. Очевидно, что вклад металлов от антропогенных источников в почве выше, чем вклад от естественных. Значительное увеличение содержания металлов в почвах наблюдается в районах с высоким уровнем промышленной деятельности, где их накопление может быть в несколько раз выше, чем среднее содержание в незараженных областях. Кроме того, в районах, удаленных от промышленных центров также могут наблюдаться повышенные концентрации металлов в результате переноса на большие расстояния с помощью ветра.

Как свидетельствуют многочисленные исследования, неблагоприятные экологические факторы, даже при невысоком уровне воздействия могут вызывать значительные расстройства здоровья людей. Загрязнение окружающей среды, несмотря даже на относительно малые концентрации веществ, вследствие большой длительности воздействия, может приводить к тяжелым болезням, включая онкологию [Бериев, Заалишвили, 2015].

Изучение онкозаболеваемости населения г. Владикавказ.

Для изучения заболеваемости населения злокачественными образованиями был отобран материал по различным районам г. Владикавказ [Бериев и др., 2013]. Для обработки и последующего анализа полученных данных была разработана специальная база данных. Формирующие параметры базы включали местожительство, пол, возраст больного, локализация поражения тела больного. Больные были разделены на несколько групп по возрасту: до 20 лет, 20–29 лет, 30–39 лет, 40–49 лет, 50–59 лет, 60–69 лет и 70 лет и старше. Типы данных были строго определены для последующего подключения базы данных к карте, используя современные ГИС технологии. Подключение базы данных к цифровой карте в геоинформационной системе позволило выполнить множественный анализ данных благодаря пространственной привязке каждой записи. Так, например, можно отобрать интересующие возрастные категории, сделать фильтрацию по полу, определённой улице или локализации болезни. В ГИС-технологиях на карте – схеме застройки города было построено распределение заболеваемости злокачественными образованиями по площади города. По общепринятой методике поликлинического территориального районирования по границам обслуживания поликлиник были получены значения заболеваемости за разные годы, а также среднее значение за несколько лет, которое и было вынесено на карту [Burdzieva et al., 2016] (рис. 1).

Методы исследования

Тяжелые металлы в почве влияют на качество окружающей среды, а также могут угрожать здоровью человека. Точность карт пространственного распределения тяжелых металлов имеет решающее значение для контроля рисков [Senesil et al., 1999]. Загрязняющие вещества всегда сильно различаются по поверхности земли, поэтому очень сложно получить точное пространственное распределение тяжелых металлов. Наличие определенной доли проб, превышающих установленный нормативный порог, было классическим методом характеристики степени загрязнения

почвы [Chen et al., 1997; Cheng et al., 2007]. Однако у классического метода оценки есть много ограничений, которые, вероятно, приводят к ошибкам или неопределенности в оценке загрязнения.

Классический статистический метод обычно требует, чтобы данные были подчинены ряду допущений: независимость наблюдений друг от друга, точная или приближительная нормальность наблюдений, большая и повторная выборка. Но в исследованиях загрязнения почвы содержание тяжелых металлов в почве обычно имеет искаженное нормальное распределение и пространственно автокоррелировано [Kishné et al., 2003; Hu et al., 2006]. Учитывая стоимость отбора и анализа проб почвы, плотный и повторный отбор проб обычно нецелесообразен. Для картографирования пространственного распределения загрязнения почвы требуются методы пространственной интерполяции. Следовательно, методы интерполяции, такие как метод обратных взвешенных расстояний (IDW), кригинг и сплайн, широко используются при исследованиях почв и картировании загрязнения [Imperato et al., 2003; McGrath et al., 2004; Amini et al., 2005; Lee et al., 2006].

Точность интерполяции связана с точным определением загрязненной территории и ее границ. Следовательно, это напрямую влияет на точность оценки загрязнения. Существует множество исследований эффективности упомянутых выше методов пространственной интерполяции, но результаты не являются однозначными [Shi et al., 2009]. Некоторые из них обнаружили, что метод кригинга работает лучше, чем IDW [Panagoroulos et al., 2006; Yasrebi et al., 2009]; в то время как другие показали, что кригинг не лучше альтернативных методов [Gotway et al., 1996].

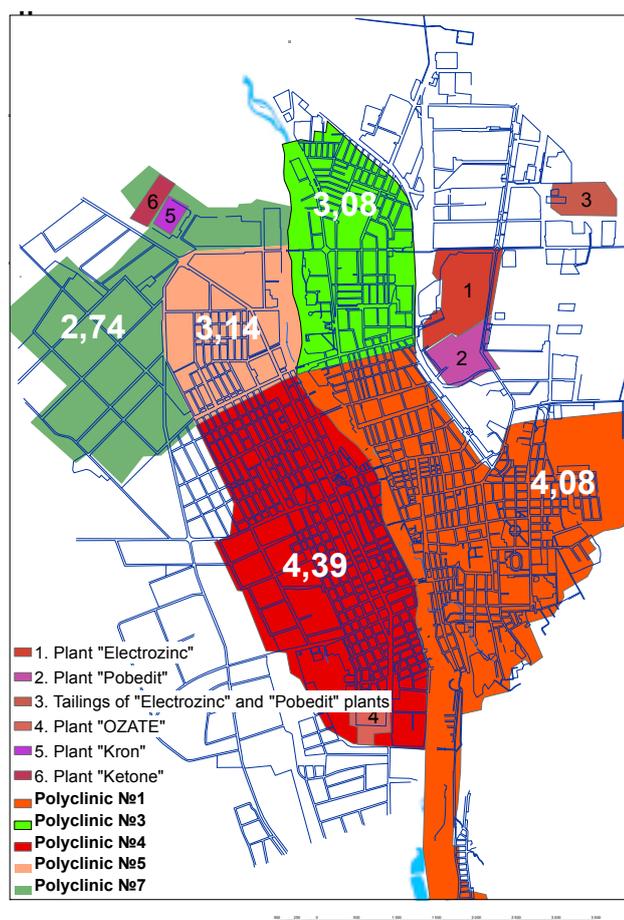


Рис. 1. Заболеваемость новообразованиями по территории городских поликлиник /

Fig. 1. The incidence of neoplasms in the territory of city polyclinics

Исследования загрязнения почв тяжелыми металлами сосредоточены на выявлении областей с высоким риском загрязнения. Образцы из районов с высоким риском загрязнения обычно являются локальными пространственными выбросами [Zhang et al., 2009]. Все методы интерполяции имеют сглаживающий эффект, который недооценивает («теряет» пики) локальные высокие значения и переоценивает местные низкие значения [Journel et al., 2000]. В этой связи важно минимизировать систематическую ошибку в оценке загрязнения, вызванную методами интерполяции, и «понимать» наличие неопределенности при оценках загрязнения почвы тяжелыми металлами, вызванную ошибкой интерполяции, и различиями в оценке загрязнения различными методами интерполяции.

Первый рассматриваемый метод интерполяции – кригинг, основан на предположении, что интерполируемый параметр можно рассматривать как регионализированную переменную. Как и в случае с IDW, оценка кригинга задается линейной комбинацией наблюдаемых значений с весами. В зависимости от стохастических свойств случайных полей применяются разные типы кригинга. Тип кригинга определяет линейное ограничение на веса, подразумеваемое несмещенным условием. Существует несколько типов кригинга, включая простой кригинг, обычный кригинг, универсальный кригинг и т.д. Отметим, что обычный кригинг является наиболее часто применяемым методом. Веса ОК выводятся из уравнений кригинга с использованием функции полувариантности. Параметры функции полувариантности и нагетт-эффекта можно оценить с помощью эмпирической функции полувариантности [Webster and Oliver, 2007]. Несмещенная оценка функции полувариантности равна половине среднего квадрата разности между значениями парных данных:

$$\gamma(\delta) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

где $\gamma(h)$ – значение полувариантности на интервале расстояний h ; и $N(h)$ – количество пар выборок в интервале расстояний h ; $z(x_i + h)$ и $z(x_i)$ – выборочные значения в двух точках, разделенных интервалом расстояния h .

Следующий вид интерполяторов – радиальные базисные функции (RBF) – это название, данное большому семейству точных интерполяторов, которые используют основное уравнение, зависящее от расстояния между интерполированной точкой и точками выборки [Aguilar et al., 2005]. RBF концептуально аналогичны установке резиновой мембраны через измеренные значения образца, при этом сводя к минимуму общую кривизну поверхности. Значение прогноза по RBF может быть выражено как сумма двух компонентов [Mitasova, Mitas, 1993]:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^m a_i f_i(x) + \sum_{j=1}^n b_j \psi(d_j) \quad (2)$$

где $\psi(d_j)$ показывает радиальные базисные функции, а d_j – расстояние от места выборки до точки прогнозирования x , $f_i(x)$ – функция тренда, член базиса для пространства многочленов степени $< m$. Коэффициенты a_i и b_j вычисляются посредством разрешения следующей системы $n + m$ линейных уравнений; n – общее количество известных точек, используемых в интерполяции, как показано ниже:

Полиномиальная интерполяция – это процесс поиска формулы (часто полинома), график которой будет проходить через заданный набор точек. Интерполяция глобального полинома соответствует полиному всей поверхности, в то время как интерполяция локального полинома может рассматриваться как комбинация методов глобального полинома и процедуры скользящего среднего. Вместо подгонки полинома ко всему набору данных он подгоняется к локальному подмножеству, определяемому окном, как в модели скользящего среднего. Размер этого окна должен быть достаточно большим для включения в процесс разумного количества точек данных.

Учитывая, что рассмотренные в настоящем исследовании методы интерполяции проводят к практически идентичным результатам, в качестве метода интерполяции нами был выбран метод обратных взвешенных расстояний (IDW), который основан на предположении, что прогнозы представляют собой линейную комбинацию доступных данных. Интерполирующая функция:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i},$$
$$w_i = d_i^{-u}$$
(3)

где $Z(x)$ – предсказанное значение в интерполированной точке, Z_i – в известной точке, n – общее количество известных точек, используемых при интерполяции, d_i – расстояние между точкой i и точкой предсказания, а w_i – это вес, присвоенный точке i . Больше значение веса присваивается значениям, близким к интерполированной точке. По мере увеличения расстояния вес уменьшается [Shepard, 1968], а u – сила веса, которая определяет, как вес уменьшается с увеличением расстояния.

Результаты работы и их обсуждение

В 2014 году ГБУ «Дирекция по выполнению природоохранных программ и экологического образования» и Открытое акционерное общество «Севосетингеоэкомониторинг» провели исследование состояния загрязнения почв, в том числе пестицидами и радиоактивными веществами. На основе этих данных нами был рассчитан индекс канцерогенного риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду.

Применялась стандартная формула для расчета средней суточной дозы при ингаляционном воздействии химических веществ, попадающих в воздух из почвы [Руководство..., 2004] (расшифровка всех параметров дана в таблице 1):

$$I = (Ca \times IR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365)$$
(4)

Из руководства по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, были получены референтные концентрации для хронического ингаляционного воздействия (табл. 2)

Таблица 1 / Table 1

Стандартная формула для расчета средней суточной дозы при ингаляционном воздействии химических веществ, попадающих в воздух из почвы / Standard formula for calculating the average daily dose for inhalation exposure to chemicals released into the air from soil

Параметр/ Parameter	Характеристика/ Characteristic	Стандартное значение/ standard value
I	Ингаляционное поступление, мг/(кг×день)/ Inhalation intake (kg×day)	-
Ca	Концентрация вещества в воздухе, мг/м ³ / Concentration of matter in air, mg/m ³	Cs x (1/PEF + 1/EF)
Cs	Концентрация вещества в почве, мг/кг/ Concentration of matter in soil, mg/kg	-
PEF	Фактор эмиссии пылевых частиц, м ³ /кг/Dust emission factor, m ³ /kg	расчетная величина (табл. 3.13)/ calculated value (Table 3.13)
VF	Фактор испарения из почвы, м ³ /кг/ Factor of evaporation from soil, m ³ /kg	расчетная величина (табл. 3.14)/ calculated value (Table 3.14)
IR	Скорость поступления, м ³ /сут/ Intake rate, m ³ /day	20 м ³ /сут.; дети: 10 м ³ /сут./ 20 m ³ /day; children: 10 m ³ /day
EF	Частота воздействия, дней/год/ Exposure frequency, days/year	350 дн./г / 350 days/year
ED	Продолжительность воздействия, лет/ Exposure duration, years	30 лет; дети: 6 лет/ 30 years; children: 6 years
BW	Масса тела, кг/Body mass, kg	70 кг; дети: 15 кг/ 70 kg; children: 15 kg
AT	Период усреднения экспозиции, лет/ Exposure averaging period, years	Для взрослых 30 лет; для детей: 6 лет; канцерогены: 70 лет/ For adults 30 years; for children 6 years; carcinogens: 70 years

Таблица 2 / Table 2

Референтные концентрации для хронического ингаляционного воздействия / Reference concentrations for chronic inhalation exposure

CAS	Вещество/Matter	RFC мг/м ⁵ / mg/ m ⁵	Критические органы/системы / Critical organs / systems
7440-43-9	Кадмий/Cd	2*10 ⁻⁵	почки, органы дыхания, гормон, рак / nephros, respiratory organs, hormone, cancer
7440-50-8	Медь/Cu	2*10 ⁻⁵	органы дыхания, системн./ respiratory organs, system.
7440-02-0	Никель/Ni	5*10 ⁻⁵	органы дыхания, кровь, иммун., рак, ЦНС / respiratory organs, blood, immun., cancer, CNS
7439-97-6	Ртуть/Hg	0,0003	ЦНС, гормон., почки / CNS, hormone., nephros
7439-92-1	Свинец/Pb	0,0005	ЦНС, кровь, развитие, репрод. сист., гормон., почки / CNS, blood, evolution, reproductive system, hormone., nephros
7440-66-6	Цинк/Zn	0,0009	органы дыхания, иммун. (сенс.), кровь / respiratory organs, immun.(sens.), blood

Индекс канцерогенного риска рассчитывался, как отношение средней суточной дозы при ингаляционном воздействии химических веществ, попадающих в воздух из почвы, к референтным концентрациям для хронического ингаляционного воздействия. Безопасными считаются значения меньше 1. По результатам исследования были построены карты индекса канцерогенного риска для территории г. Владикавказа (рис. 2-3).

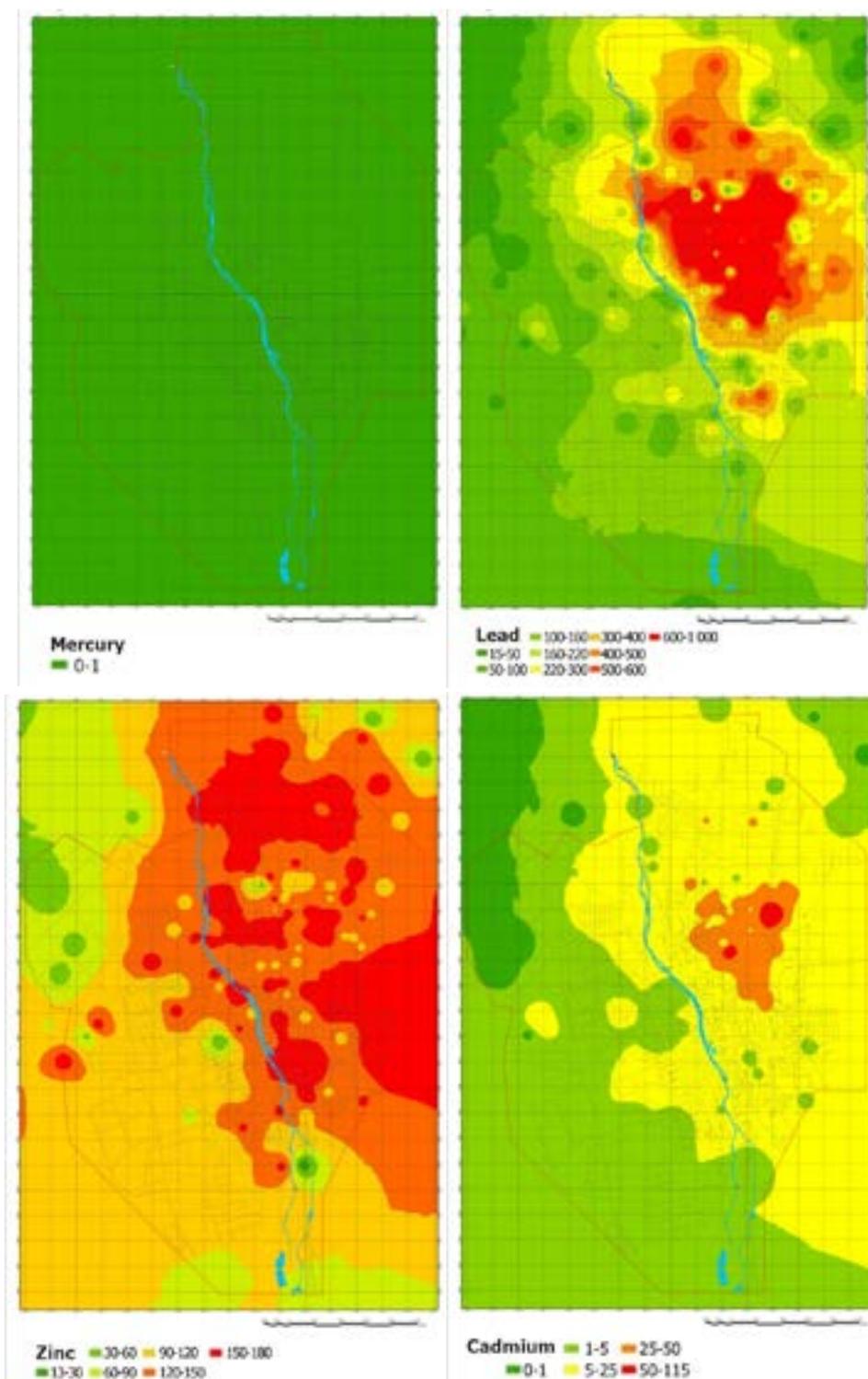


Рис. 2. Карты индекса канцерогенного риска для территории г. Владикавказа /
Fig. 2. Maps of the carcinogenic risk index for the territory of Vladikavkaz

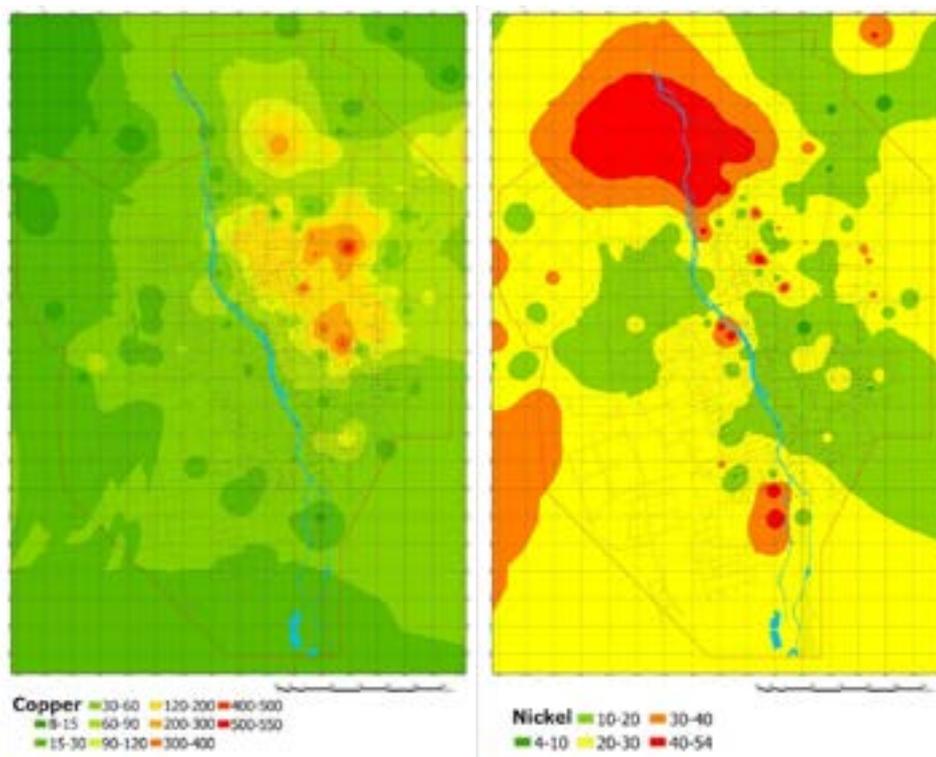


Рис. 3. Карты индекса канцерогенного риска для территории г. Владикавказа /
Fig. 3. Maps of the carcinogenic risk index for the territory of Vladikavkaz

Кроме ингаляционного способа поступления веществ из почвы в организм человека, существует ещё два вида поступлений: накожная экспозиция и пероральное поступление.

Для перорального поступления использовалась следующая формула [Руководство..., 2004]:

$$I = C_s \times FI \times EF \times ET \times CF_2 \times ((ED_c \times IR_c / BW_c) + (ED_a \times IR_a / BW_a)) / (AT \times 365) \quad (5)$$

где I – среднесуточное пероральное поступление, мг/(кгхдень), C_s – концентрация вещества в почве, FI – загрязненная часть почвы, принимаемая равной единице (100%), EF – частота воздействия, равная 350 дн/г, ET – время воздействия, 1 ч/дн, CF_2 – Пересчетный коэффициент – 1/24 дн/ч, ED_c и ED_a – продолжительность воздействия в возрасте старше и младше 6 лет соответственно, IR_c и IR_a – скорость поступления в возрасте старше и младше 6 лет соответственно, BW_c и BW_a – масса тела в возрасте старше и младше 6 лет соответственно, AT – период усреднения, равный 350 дням для канцерогенов.

По формуле 4 и значениям референтных концентраций для перорального поступления веществ из почвы были построены соответствующие карты индекса канцерогенного риска. Для перорального поступления тяжелых металлов из почвы в организм человека значения риска не превышают единицу для всех изученных элементов, кроме свинца и 0,4 для кадмия.

Анализируя построенные карты можно заключить, что наиболее опасным способом получения тяжелых металлов из почвы в организм человека является ингаляционный, для которого наблюдается значительное превышение допустимого уровня риска. Пероральный способ поступления формирует значительно более низкий

уровень риска. Третий вариант поступления тяжелых металлов из почвы в организм человека – кожная экспозиция, рассчитанный по формуле 4 – дает значения индекса канцерогенного риска близкие к нулю.

$$DAD = (DAe \times EF \times ED \times EV \times SA) / (BW \times AT \times 365) \quad (6)$$

где, DAD – среднесуточное значение кожной дозы, мг/(кгхдень), DAe – полученная доза за одно событие, мг/см², EF – частота воздействия, принимаемая равная 350, ED – продолжительность воздействия 30 лет, EV – количество воздействий в день, SA – среднее значение площади поверхности кожи, см², BW – средняя масса тела взрослого человека – 70 кг., AT – период усреднения, равный 350 дням для канцерогенов.

Обсуждение результатов

Таким образом, общий уровень канцерогенного риска для территории г. Владикавказ за счёт поступления в организм человека тяжелых металлов из почвы, значительно превышает безопасные значения. При этом общий риск представляет собой интегральный показатель отдельных значений риска для различных способов поступления тяжелых металлов [Руководство..., 2004]. Но, учитывая, что уровень риска для ингаляционного поступления значительно превышает уровни риска для перорального и кожной экспозиции почвы, в качестве итоговым карт можно рассматривать карты индекса канцерогенного риска для ингаляционного поступления тяжелых металлов. При этом пероральный способ также значительно превосходит кожную экспозицию.

Согласно построенным картам, по всем исследуемым показателям, за исключением ртути, наблюдается значительное превышение предельно допустимых значений. Полученные данные согласуются с высоким уровнем онкологической заболеваемости на территории города, что говорит о тесной взаимосвязи заболеваемости и индекса канцерогенного риска.

Выводы

- В настоящее время наибольшему загрязнению территории тяжелыми металлами подвергается столица республики – город Владикавказ, где расположены основные предприятия-загрязнители и находится наибольшее количество автотранспорта.
- Отобран материал по заболеваемости населения злокачественными образованиями в различных районах г. Владикавказ. Для обработки и последующего анализа полученных данных по онкозаболеваемости населения, проживающего в регионе с интенсивной горнодобывающей деятельностью, была создана специальная база данных.
- На территориях, где выше загрязненность окружающей среды тяжелыми металлами, выше уровень онкозаболеваемости населения. Установлено, что чем ближе к промышленным предприятиям цветной металлургии г. Владикавказ и соответствующим ореолам загрязненностью почвы тяжелыми металлами расположены места проживания населения, тем выше их онкологическая заболеваемость.
- Изучены различные методы интерполяции данных, имеющих пространственную привязку. Учитывая, что рассмотренные в настоящем исследовании методы интерполяции приводят к практически идентичным результатам, в качестве метода интерполяции нами был выбран метод обратных взвешенных расстояний (IDW)

- По имеющимся данным был рассчитан индекс и построены карты канцерогенного риска населения при воздействии свинца, цинка, кадмия, меди и ртути (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Hg), показавших, за исключением ртути, многократное превышение предельно допустимых значений.
- Полученные данные согласуются с высоким уровнем онкологической заболеваемости на территории города, что говорит о тесной взаимосвязи заболеваемости и индекса канцерогенного риска.

Литература

1. Алборов И.Д., Заалишвили В.Б. Влияние ветрового режима и давления атмосферного воздуха на надежность вентиляции рудников и организм человека. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012148-159
2. Бекузарова С.А., Тебиева Д.И., Бекмурзов А.Д., Кебалова Л.А., Корбесова К.В. Фиторемедиация токсичности воздуха автомобильных дорог. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №2. – С. 127–136. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.65.009
3. Бериев О.Г., Заалишвили В.Б. Состояние загрязнения атмосферы и заболеваемость населения города Владикавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №4. – С. 47–56.
4. Бериев О.Г., Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Онкозаболеваемость населения г. Владикавказа и его взаимосвязь с различными факторами. // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – №3. – С. 29–38.
5. Джгамадзе А.К., Гогичев Р.Р. Гидрогеохимические особенности Северо-Осетинского артезианского бассейна. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №2. – С. 56–70. DOI: 10.46698/VNC.2020.45.55.004
6. Иванов А.В., Стриженок А.В., Супрун И.К. Вопросы оценки эффективности внедряемых пылезащитных экранов на этапе проектирования. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №3. – С. 139–152. DOI: 10.46698/VNC.2020.37.81.009
7. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
8. Стогний В.В., Стогний Г.А., Любимова Т.В. Геоэкологические риски территории Краснодарского края: проблема интегральной оценки степени геологических опасностей. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 121–133.
9. Aguilar, F.J., Aguera, F., Aguilar, M.A., Carvajal, F. Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy. // Photogramm. Eng. Rem. S. – 2005. – Vol. 71. – pp. 805–816.
10. Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C., Schulin, R. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. // Sci. Total Environ. – 2005. – Vol. 347. – pp. 64–77.
11. Borshevsky S.V., Kachurin N.M., Burdzieva O.G., Golik V.I. Prospects for extraction of metals from mine waste water. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2017. – Vol. 9. No.1. – pp. 81–91.
12. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. // International Journal of Geomate. – 2016. – Vol. 10. No.1. – pp. 1693-1697
13. Chen T.B., Wong J.W.C., Zhou H.Y., Wong M.H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. // Environ. Pollut. – 1997. – Vol. 96. – pp. 61–68.
14. Cheng J.-L., Shi Z., Zhu Y.-W. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China. // J. Environ. Sci. China. – 2007. – Vol. 19. – pp. 50–54.

15. Gotway C.A., Ferguson R.B., Hergert G.W., Peterson T.A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. // *Soil Sci. Soc. Am.* – 1996. – J. 60. – pp. 1237–1247.
16. Hu K.-L., Zhang F.-R., Li H., Huang F., Li B.-G. Spatial patterns of soil heavy metals in urban–rural transition zone of Beijing. // *Pedosphere.* – 2006. – Vol. 16. – pp. 690–698.
17. Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). // *Environ. Pollut.* – 2003. – Vol. 124. – pp. 247–256.
18. Journel A., Kyriakidis P., Mao S. Correcting the smoothing effect of estimators: a spectral postprocessor. // *Math. Geol.* – 2000. – Vol. 32. – pp. 787–813.
19. Kishné A.S., Bringmark E., Bringmark L., Alriksson A. Comparison of ordinary and lognormal kriging on skewed data of total cadmium in forest soils of Sweden. // *Environ. Monit. Assess.* – 2003. – Vol. 84. – pp. 243–263.
20. Lee C.S.-I., Li X., Shi W., Cheung S.C.-N., Thornton I. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. // *Sci. Total. Environ.* – 2006. – Vol. 356. – pp. 45–61.
21. McGrath D., Zhang C., Carton O.T., Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. // *Environ. Pollut.* – 2004. – Vol. 127. – pp. 239–248.
22. Mitasova H., Mitas L. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. // *Math. Geol.* – 1993. – Vol. 25. – pp. 641–655.
23. Panagopoulos T., Jesus J., Antunes M.D.C., Beltrão J. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. // *Eur. J. Agron.* – 2006. – Vol. 24. – pp. 1–10.
24. Senesil G.S., Baldassarre G., Senesi N., Radina B. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. // *Chemosphere.* – 1999. – Vol. 39. – pp. 343–377.
25. Shepard D. A Two-dimensional Interpolation Function for Irregularly-spaced Data. // ACM New York, NY, USA. – 1968.
26. Shi W., Liu J., Du Z., Song Y., Chen C., Yue T. Surface modelling of soil pH. // *Geoderma.* – 2009. – Vol. 150. – pp. 113–119.
27. Webster R., Oliver M.A. (Eds.) *Geostatistics for Environmental Scientists*, second ed. // Wiley. – 2007.
28. Yasrebi J., Saffari M., Fathi H., Karimian N., Moazallahi M., Gazni R. Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some soil chemical parameters. // *Res. J. Biol. Sci.* – 2009. – No.4. – pp. 93–102.
29. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Melkov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of northern Caucasus. // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth.* – 2014. – Vol. 50. No.2. – pp. 263–272.
30. Zhang C., Tang Y., Luo L., Xu W. Outlier identification and visualization for Pb concentrations in urban soils and its implications for identification of potential contaminated land. // *Environ. Pollut.* – 2009. – Vol. 157. – pp. 3083–3090.

References:

1. Alborov I.D., Zaalishvili V.B. Influence of wind conditions and pressure the influence of atmospheric air on the reliability of mine ventilation and the human body. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2021. Vol. 11. No.3. pp. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012148–159. (in Russ.)
2. Bekuzarova S.A., Tebieva D.I., Bekmurzov A.D., Kebalova L.A., Korbesova K.V. Phytoremediation of air toxicity of roads. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2020. Vol. 10. No.2. pp. 127–136. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.65.009 (in Russ.)
3. Beriev O.G., Zaalishvili V.B. State of atmospheric pollution and morbidity of the

population of Vladikavkaz city. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015. No.4. pp. 47-56. (in Russ.)

4. Beriev O.G., Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Oncology disease rate of Vladikavkaz city population and its interrelation with various factors. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2013. No.3. pp. 29-38. (in Russ.)

5. Dzhgamadze A.K., Gogichev R.R. Hydrogeochemical features of the North Ossetian artesian basin. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No.1. pp. C. 56-70. DOI: 10.46698/VNC.2020.45.55.004 (in Russ.)

6. Ivanov A.V., Strizhenok A.V., Suprun I.K. Issues of evaluating the effectiveness of the introduced dust screens at the design stage. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2020. Vol. 10. No.3. pp. 139-152. DOI: 10.46698/VNC.2020.37.81.009 (in Russ.)

7. Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment. Moscow. Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2004. 143 p. (In Russ.)

8. Stogny V.V., Stogny G.A., Lyubimova T.V. Geoecological risks of the Krasnodar region: the problem of integrated assessment of the geological hazards degree. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.1. pp. 121-133. DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010. (In Russ.)

9. Aguilar F.J., Aguera F., Aguilar M.A., Carvajal F. Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy. *Photogramm. Eng. Rem. S.* 2005. 71, pp. 805–816.

10. Amini M., Afyuni M., Khademi H., Abbaspour K.C., Schulin R. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Sci. Total Environ.* 2005. 347, pp. 64–77.

11. Borshevsky S.V., Kachurin N.M., Burdzieva O.G., Golik V.I. Prospects for extraction of metals from mine waste water. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. Vol. 9. No. 1. pp. 81–91.

12. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. *International Journal of Geomate*. 2016. Vol. 10. No. 1. pp. 1693–1697

13. Chen T.B., Wong J.W.C., Zhou H.Y., Wong M.H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. *Environ. Pollut.* 1997. 96, pp. 61–68.

14. Cheng J.-L., Shi Z., Zhu Y.-W. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China. *J. Environ. Sci. China* 2007. 19, pp. 50–54.

15. Gotway C.A., Ferguson R.B., Hergert G.W., Peterson T.A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. *Soil Sci. Soc. Am.* 1996. J. 60, pp. 1237–1247.

16. Hu K.-L., Zhang F.-R., Li, H., Huang F., Li, B.-G. Spatial patterns of soil heavy metals in urban–rural transition zone of Beijing. *Pedosphere* 2006. 16, pp. 690–698.

17. Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environ. Pollut.* 2003. 124, pp. 247–256.

18. Journel A., Kyriakidis P., Mao S. Correcting the smoothing effect of estimators: a spectral postprocessor. *Math. Geol.* 2000. 32, pp. 787–813.

19. Kishné A.S., Bringmark E., Bringmark L., Alriksson A. Comparison of ordinary and lognormal kriging on skewed data of total cadmium in forest soils of Sweden. *Environ. Monit. Assess.* 2003. 84, 243–263.

20. Lee C.S.-I., Li X., Shi W., Cheung S.C.-N., Thornton I. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Sci. Total Environ.* 2006. 356, pp. 45–61.

21. McGrath D., Zhang C., Carton O.T. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. *Environ. Pollut.* 2004. 127, pp. 239–248.

22. Mitasova, H., Mitas, L. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Math. Geol.* 1993.25, pp. 641–655.
23. Panagopoulos T., Jesus J., Antunes M.D.C., Beltrão J. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *Eur. J. Agron.* 2006. 24, pp. 1–10.
24. Senesil G.S., Baldassarre G., Senesi N., Radina B. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. *Chemosphere* 1999. 39, pp. 343–377.
25. Shepard D.A. Two-dimensional Interpolation Function for Irregularly-spaced Data. ACM New York, NY, USA. 1968.
26. Shi W., Liu J., Du Z., Song Y., Chen C., Yue T. Surface modelling of soil pH. *Geoderma* 2009. 150, pp. 113–119.
27. Webster R., Oliver M.A. (Eds.) *Geostatistics for Environmental Scientists*, second ed. Wiley. 2007.
28. Yasrebi J., Saffari M., Fathi H., Karimian N., Moazallahi M., Gazni R. Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some soil chemical parameters. *Res. J. Biol. Sci.* 2009. 4, pp. 93–102.
29. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Melkov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of northern Caucasus. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth.* 2014. Vol. 50. No. 2. pp. 263–272.
30. Zhang C., Tang Y., Luo L., Xu W. Outlier identification and visualization for Pb concentrations in urban soils and its implications for identification of potential contaminated land. *Environ. Pollut.* 2009. 157, pp. 3083–3090.