

Г. А. Иванюкович, П. С. Зеленковский

ВЫДЕЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ЭКОГЕОХИМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Территория мегаполиса — это зона взаимодействия большого количества антропогенных факторов, что необходимо учитывать при определении качества окружающей среды, а главное — при выделении источников загрязнения.

Выделение на общем фоне локальных источников загрязнения, которые еще не внесли свой значимый вклад в общее состояние территории, но тем не менее потенциально опасных в будущем, крайне важная практическая задача.

В статье рассмотрены методы обращения с данными о загрязнении подобных локальных зон и особенности учета такой неоднородной информации. Библиогр. 5 назв. Ил. 1. Табл. 2.

Ключевые слова: локальная зона загрязнения, площадной и точечный источники загрязнения.

ALLOTMENT OF LOCAL CONTAMINATION IN ECOGEOCHEMICAL MONITORING OF URBAN AREAS

G. A. Ivanyukovich, P. S. Zelenkovskii

St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, 7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The territory of the megapolis is a zone of interaction of a large number of anthropogenic factors that must be considered when determining the quality of the environment, and most importantly in the allocation of pollution sources. Allocation of the general background of local pollution sources that have not yet made their significant contribution to the overall condition of the territory, but nonetheless potentially dangerous in the future, is extremely important practical problems. The article describes the methods of handling information on contamination of such local-zones and features a non-uniform accounting information. Refs 5. Fig. 1. Tables 2.

Keywords: local area pollution.

Основной задачей экогеологического картографирования загрязненной местности является оценка ее класса опасности. С этой целью строят изолинии, отображающие уровень угрозы, выбирая их градацию согласно установленным категориям опасности или кратным им значениям. Иногда ограничиваются оценками класса опасности таксона, в пределах которого экологическая ситуация считается близкой. Практика показывает, что при мониторинге недостаточно оценить интегральную обстановку. Важно выделить локальные источники поступления поллютантов, которые на начальной стадии развития мало влияют на категорию загрязнения, имеют ограниченную площадь распространения, но в дальнейшем могут существенно изменить обстановку.

Исходя из особенностей геохимической обстановки, уровень загрязнения в i -точке можно представить суммой двух случайных величин:

$$Z_i = Z_{reg_i} + Z_{loc_i},$$

где Z_i — коэффициент концентрации, Z_{reg_i} — региональная, Z_{loc_i} — локальная составляющие.

В таком случае задачу можно свести к выделению значений Z_i , которые статистически значимо превышают величину Z_{reg} . Задача может быть решена, если установлен класс функции распределения Z_{reg} и оценены ее параметры.

Выделение единичных экстремальных значений, у которых $Z_i > Z_{reg}$, не представляет трудности. В геологии с этой целью обычно используют характеристики распределения Гаусса (нормальное распределение): среднее арифметическое значение (Mean) и среднеквадратическое отклонение (S) [1, 2]. К экстремальным относят наблюдения, вышедшие за пределы интервала:

$$\text{Mean} - 3S < Z \leq \text{Mean} + 3S.$$

В случае нормального распределения доверительная вероятность попадания в интервал составляет $p = 99,73\%$.

При небольшой выборке (менее 20–30 наблюдений) целесообразно исходить из параметров: медиана — Med, верхняя — Q_{25} и нижняя квартили Q_{75} , которые менее чувствительны к выделяющимся значениям [1]. Тогда условие отбраковки при нормальном распределении и $p = 99,73\%$ принимает вид

$$\text{Med} - 4,45(Q_{75} - \text{Med}) < Z_i \leq \text{Med} + 4,45(Q_{75} - \text{Med}).$$

Выявление небольших, но статистически значимых отклонений Z_i от регионального уровня возможно, если аномальных наблюдений немного, однако оценки границ интервалов с доверительной вероятностью более 90% непосредственно по гистограмме распределения, полученной экспериментально, оказываются грубыми вследствие небольшого числа наблюдений, выходящих за его границы. В этом случае алгоритм решения задачи зависит от числа наблюдений (N) и априорной информации о классе функции распределения Z_i .

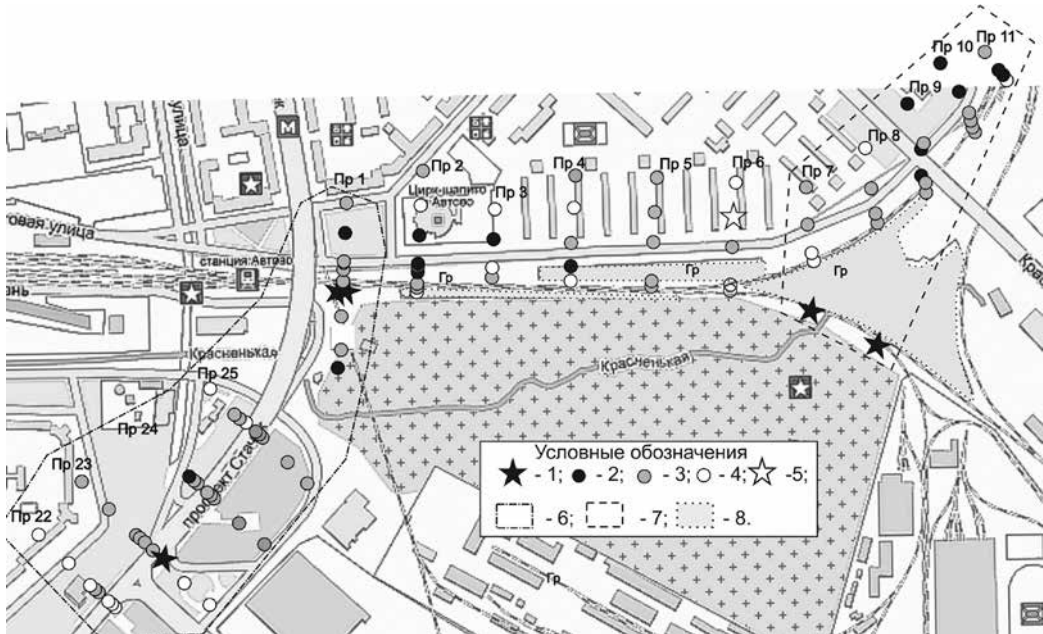
При N более 20–30 можно установить класс функции распределения, определить ее параметры и найти границы доверительного интервала для классификации наблюдений по степени влияния локального фактора.

При N менее 20–30 приходится использовать характеристики распределения, которые не чувствительны к большим отклонениям от среднего. Как уже отмечалось, к ним относят Med, Q_{25} и Q_{75} [1]. Границы интервалов ($p \geq 90\%$) можно оценить с учетом предположений о классе функции распределения. Например, при нормальном распределении границы двусторонних доверительных интервалов ($L_{2,5}$, $H_{97,5}$) связаны с медианой и квартилями следующими соотношениями:

$$p = 95\%; L_{2,5} = \text{Med} - 2,9(\text{Med} - Q_{25}) \text{ и } H_{97,5} = \text{Med} - 2,9(Q_{75} - \text{Med}).$$

Ниже рассмотрены более подробно алгоритмы и результаты их применения для анализа загрязнения тяжелыми металлами территории Кронштадтского путепровода (г. Санкт-Петербург), который пересекает железную дорогу и параллельную ей улицу с двусторонним движением (рисунок). На геоэкологической карте территория по уровню загрязнения тяжелыми металлами находится на границе умеренно опасной ($Z = 16-32$) и опасной ($Z = 32-128$) зон [3].

Техногенная обстановка в пределах территории неоднородна. На улице и железной дороге в Угольную гавань движение небольшое. Однако отдельные отрезки могут быть захлаплены владельцами близлежащих гаражей. Магистраль отличают высокая интенсивность движения и, как следствие, вероятность аварий на прилегающих



Карта-схема Кронштадской развязки с результатами оценки суммарного загрязнения в местах отбора проб

Условные обозначения: 1 — $Q_{97,5} \leq Z$; 2 — $Q_{75} \leq Z < Q_{97,5}$; 3 — $Q_{25} < Z < Q_{75}$; 4 — $Q_{2,5} < Z < Q_{25}$; 5 — $Z < Q_{2,5}$; 6 — зона влияния автомагистрали; 7 — зона влияния гаражей; 8 — гаражи.

съездах. Дополнительные воздействия на обстановку связаны с благоустройством и освоением территории. С учетом техногенного воздействия территория разделена на три участка: 1 — прилегает к жилому массиву (профили 2–9), 2 — расположен вдоль автомагистрали (профили 1, 22–25) и 3 — удален от путепровода.

Пробы отбирали вдоль профилей, перпендикулярных дорогам на расстоянии 10, 20, 30, 50 и 100 м от их края. Расстояние между профилями равнялось 120 м. Общее количество проб — 97. В качестве индикаторов выбраны типичные для города загрязнители I и II классов опасности: Pb, Zn и Cu, концентрации которых превышали фоновые показатели [4, 5]. Их содержание определено рентгенофлуоресцентным методом с погрешностью 5%.

Суммарный уровень загрязнения характеризовал коэффициент концентрации:

$$Z = Z_{Pb} + Z_{Zn} + Z_{Cu} - 2,$$

где Z_{Pb} , Z_{Zn} и Z_{Cu} — содержание элемента в пробе, нормированное на его среднее содержание в городе [4, 5].

Характеристики распределения Z на участках и всей территории приведены в табл. 1. Уровни загрязнения объектов не превышают границы зоны допустимой опасности ($Z = 16$) и относятся к одной категории, но небольшие различия наблюдаются. Более загрязнен удаленный участок вблизи гаражного кооператива, что следует из оценок значений Mean. В определенной степени различие связано с локальным загрязнением — одним экстремальным значением ($Z = 100,1$), так как устойчивые оценки среднего уровня загрязнений Med различаются не так сильно. Детальный

анализ всей выборки показал, что квартили ($Q_{25} = 5,4$; $Q_{75} = 12,4$) переменной Z расположены асимметрично относительно среднего ($Mean = 10,5$), и ее значения имеют большой размах ($min = 1$; $max = 101$).

Таблица 1. Характеристики распределения Z

Объект	N	Mean	Q_{25}	Med	Q_{75}	max
1	26	8,3	5,4	6,8	10,2	17,5
2	45	9,4	5,3	6,7	11,1	35,9
3	26	14,6	7,6	10,2	14,2	101,1
Σ	97	10,5	5,4	8,1	12,4	101,1

На следующем этапе с помощью критерия Лиллиефорса (Lilliefors) выяснили распределение Z . Гипотеза о нормальном распределении не подтвердилась при уровне значимости $\alpha = 0,01$. Учитывая асимметрию положения квартилей относительно медианы и тот факт, что для многих элементов характерно нормальное распределение логарифмов содержания (логнормальное распределение), проверили это предположение относительно переменной $Z_{lg} = (\log_{10} Z_c)$. Тест дал положительный результат при $\alpha > 0,2$ и параметрах распределения: среднее арифметическое логарифмов — $Mean(Z_{lg}) = 0,97$, среднеквадратическое отклонение — $S(Z_{lg}) = 0,907$.

Дисперсионный анализ Z_{lg} показал, что загрязнение участка 3 отличается от двух других при уровне значимости 0,05. Надежность вывода подтверждена проверкой однородности дисперсий с помощью теста Левене (Levene).

Чтобы установить особенности распространения загрязнения и расположения аномалий, наблюдения были разбиты на пять категорий согласно табл. 2. Границы классов определяли для каждого участка отдельно, исходя из оценок медианы и квартилей, эффективных при малом числе наблюдений [1].

Таблица 2. Критерии классификации наблюдений

Критерий	$Q_{97,5} < Z$	$Q_{75} < Z \leq Q_{97,5}$	$Q_{25} < Z \leq Q_{75}$	$Q_{2,5} < Z \leq Q_{25}$	$Z \leq Q_{2,5}$
Категория	Аномально высокое	Повышенное	Норма	Пониженное	Аномально низкое

Основным загрязнителем в районе развязки является медь, вклад которой в значение Z преобладает. Единственное исключение — съезд с автомагистрали, на котором аномалия определяется повышением содержания свинца.

Анализ пространственного распределения аномальных наблюдений (см. рисунок) показал следующее.

Загрязнение территории обусловлено воздействием как площадных (автомагистраль, железнодорожные пути), так и точечных (гаражный кооператив) источников.

Наибольшее локальное загрязнение установлено на берегах реки Красенькая в зоне, расположенной между ограждением кладбища и гаражами. Потенциально опасны выезды из гаражей, съезд с автомагистрали и железнодорожный переезд (профили 2, 23 и 1 соответственно).

Площадное повышенное загрязнение начинает формироваться на участке 3, на котором значение Z статистически значимо отличается от остальной территории. Вероятной причиной этого является захламление в районе профилей 9–11.

Неравномерность загрязнения отличает зону магистрали, для которой характерны высокие и низкие значения аномальных наблюдений. Последнее свидетельствует о влиянии на обстановку вокруг магистрали разных мероприятий. Этот же вывод следует из высокого вклада свинца в величину Z аномального наблюдения. Очевидно, что с подсыпкой грунта и облагораживанием территории связано снижение загрязнения. Аварии могут приводить к появлению локальных аномалий.

Так как техногенная обстановка в районе Кронштадской развязки типична для города, можно считать, что рассмотренный алгоритм выделения местных источников загрязнения можно использовать и для других территорий.

Литература

1. Тьюки Дж. У. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ / пер. с англ. М.: Сов. радио, 1981. 693 с.
2. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. Л.: Недра, 1980. 360 с.
3. СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы».
4. Правила охраны почв в Санкт-Петербурге (вторая редакция). Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. СПб., 2006.
5. Экологическая обстановка по Санкт-Петербургу в 1992 году (аналитический обзор). СПб.: Ленкомэкология, 1993.

Статья поступила в редакцию 30 декабря 2014 г.

Контактная информация:

Иванюкович Георгий Александрович — доктор технических наук, профессор;
ivang1937@yandex.ru

Зеленковский Павел Сергеевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент;
geopavel@yandex.ru

Ivanyukovich G. A. — Doctor of Engineering Sciences, Professor; ivang1937@yandex.ru
Zelenkovskii P. S. — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor;
geopavel@yandex.ru