

УДК 504.06+550.4-911.52(571.651)

О.Д. ТРЕГУБОВ

Оценка загрязнения почвогрунтов Анадыря по геохимическим данным (1994–2014 гг.)

На примере малого города Арктической зоны России рассмотрены изменения численных показателей химического загрязнения, расположения педохимических аномалий тяжелых металлов и металлоидов, источников и условий формирования очагов накопления вредных веществ за 1994–2014 гг. Установлено, что за прошедшие 20 лет уровень загрязнения почвогрунтов свинцом, цинком и никелем снизился в 2–3 раза, а концентрации марганца и меди возросли на 50–150 %. Произошли изменения в структуре загрязнения города: первичные атмосферные и вейстогенные зоны накопления уступили первенство вторичным гидрогенным аномалиям. Сделан вывод о существенном снижении загрязнения окружающей среды Анадыря металлами и металлоидами с опасного до умеренно опасного и допустимого уровня.

Ключевые слова: геохимия окружающей среды, тяжелые металлы и металлоиды, почвогрунты, педохимические аномалии, суммарный показатель загрязнения, парагенетические ассоциации элементов.

Assessment of the Anadyr soil-ground pollution on geochemical data (1994–2014). O.D. TREGUBOV (N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, FEB RAS, Magadan).

The work is devoted to the changes of numerical indicators of chemical pollution, location of pedochemical anomalies of heavy metals and metalloids, sources and conditions of formation of harmful substances accumulation for the period from 1994 to 2014 based on the example of the small city of the Arctic zone of Russia. It has been found that over the past 20 years the level of Pb, Zn and Ni contamination of soils ground decreased by a factor of 2–3 times and concentrations of manganese and copper increased by 50–150 %. The city pollution structure has been changed: primary atmogetic and wastegenic accumulation areas yielded secondary hydrogenic anomalies. The conclusion about a significant reduction in metal and metalloid pollution of Anadyr from dangerous to moderately dangerous and acceptable level was made.

Key words: environmental geochemistry, heavy metals and metalloids, soils, pedochemical anomalies, the total index of pollution, paragenetic associations of elements.

Введение

Геохимические методы нашли широкое применение в изучении загрязнения окружающей природной среды промышленных зон, сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов [1, 2, 4]. Методы включают площадное опробование подповерхностных горизонтов почв и грунтов, лабораторное определение в пробах валового содержания химических элементов, составление на основе этого карт и схем геохимических аномалий, выделение очагов загрязнения. Специфика таких аномалий в том, что они показывают не только очаги загрязнения почв, но и зоны загрязнения приземных слоев атмосферы, а элементный состав помогает установить источники загрязнения. Для нормирования загрязнения используется число превышений $ПДК_{почв}$, коэффициент концентрации

ТРЕГУБОВ Олег Дмитриевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник (Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН им. Н.А. Шило, Магадан, Северо-Восточный федеральный университет, Чукотский филиал, Анадырь). E-mail: tregubov2@yandex.ru

Исследования выполнены при финансовой поддержке Дальневосточного отделения РАН (проект № 12-III-A-09-199), Северо-Восточного федерального университета (проект № 5.8370.2013).

регионального (местного) геохимического фона (Z_c), суммарный показатель загрязнения почв (Z_c) [2, 3].

Анадырь расположен на берегу Анадырского лимана, на южных, юго-восточных, восточных склонах гор Верблюжья (116,5 м) и Александра (131,2 м). Площадь городской застройки – 450 га, с позиции геохимии ландшафта большая часть территории относится к поверхностным элювиальному и трансэлювиальному элементарным ландшафтам [5]. Мощность многолетнемерзлых пород 100–150 м, глубина сезонной оттайки редко превышает 1–1,5 м, устойчивые горизонты подземных вод не обнаружены. В городе отсутствуют специализированные промышленные производства, так что потенциальными источниками загрязнения являются автотранспорт, теплоэнергетика, строительство, коммунальное хозяйство.

Комплексные геохимические исследования загрязнения окружающей среды Анадыря проводились в 1991–1994 гг., результаты работ изложены в отчетах, статьях и монографии [5]. В 2014 г. для оценки динамики уровня, состава и характера загрязнения почвогрунтов города за период с 1994 по 2014 г. выполнено площадное опробование почвогрунтов Анадыря.

Методы исследования

Материалом проб служил мелкозем верхних горизонтов почвогрунтов, отобранный на задернованных участках с глубины 10–15 см. Всего отобрано 158 проб массой 100–150 г. Точки опробования с плотностью 1 проба на 1,6 га равномерно распределялись по площади. Рентгенофлуоресцентный анализ выполнялся на приборе Spectroscan U. В перечень рассмотренных элементов-загрязнителей (Fe, Mn, Ca, Ti, Cr, Ba, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, As, Bi, Se, Sr) вошли тяжелые металлы и металлоиды, содержания которых в 75–100 % проб выборки превышают чувствительность метода. При этом нижний предел обнаружения химических элементов рентгенофлуоресцентным методом соответствует ПДК_{почв} или существенно ниже этой нормы [2]. Результаты анализов проходили стандартную статистико-математическую и графическую обработку с помощью средств Microsoft Excel 7.0, Surfer 8.0.

В рамках статистико-математической и графической обработки массива данных определялись элементарные статистики выборки, рассчитывалась матрица коэффициентов парной корреляции, составлялись диаграммы соотношений концентраций металлов и металлоидов 1–3 класса опасности с ПДК_{почв} и региональным геохимическим фоном. В системе полярных координат города были рассчитаны и составлены схемы изоконцентрации, коэффициентов концентрации тяжелых металлов. Итогом обработки стало построение схемы очагов загрязнения по показателю Z_c – общепринятому в геохимии окружающей среды показателю суммарного загрязнения. По этому показателю ранжируются 4 уровня загрязнения (табл. 1).

Таблица 1

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения (Z_c) [1, 2]

Категория загрязнения почв	Величина Z_c	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16–32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32–128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, функциональными нарушениями сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости)

Результаты и обсуждение

Как показывает анализ полученных по выборкам статистик геохимического поля города, главными элементами-загрязнителями почвогрунтов Анадыря являются свинец, цинк, медь, никель (рис. 1). Концентрации этих металлов в целом по территории города превышают ПДК_{почв} в 1,2–2 раза, региональный геохимический фон – в 2–4 раза. В ределах аномалий ПДК превышены в 5, а региональный фон в 10 раз.

В 2014 г. в сравнении с 1994 г. уровень загрязнения свинцом и цинком уменьшился в 1,2–2 раза, никелем – на 50 % (рис. 2). В то же время уровень загрязнения почвогрунтов медью возрос на 140 %, марганцем – на 50, хромом – на 20 %.

Интерес представляет также динамика содержаний в почвогрунтах нетоксичных химических элементов. Уровень концентраций железа и кальция остался без изменений, но средние по выборке проб концентрации Fe возросли почти в 2 раза, а Ca – уменьшились в 1,5. Из числа металлов и металлоидов 3-го класса опасности увеличили концентрации стронций, уменьшили – барий и олово. В 2014 г. возрос процент проб в выборках с концентрациями кобальта и висмута, превышающими предел обнаружения (10^{-4} %).

Значимые изменения к 2014 г. произошли в составе генетических ассоциаций химических элементов, выделенных на основе матрицы коэффициентов парной корреляции. Существовавшая в 1994 г. сложная сингенетическая ассоциация «сухих шлаков и грунтов» Fe–Mn–Ti–Ca–Cr–Ni–Cu–Sn распалась, сохранившись отчасти в виде «литогенной» парагенетической ассоциации основных пород Fe–Mn–Ti–Cr. Изрядно поредела – до Pb–Bi – «техническая» ассоциация, которая в 1994 г. объединяла группу цветных металлов Pb–Sn–Cu–Ni–Bi–Sb. Наоборот, Zn, не коррелирующий с другими химическими элементами в выборке 1994 г. (Zn–Pb), в 2014 г. возглавил ассоциацию активно мигрирующих элементов Zn–Cu–Ni–Ba–Mn. По результатам исследования был составлен перечень ассоциаций с указанием на их возможное происхождение (табл. 2).

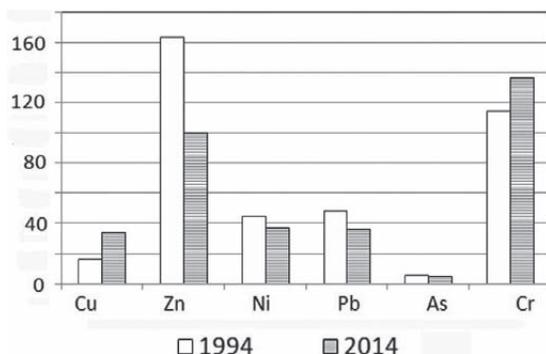


Рис. 1. Средние концентрации опасных химических элементов в почвогрунтах Анадыря, мг/кг

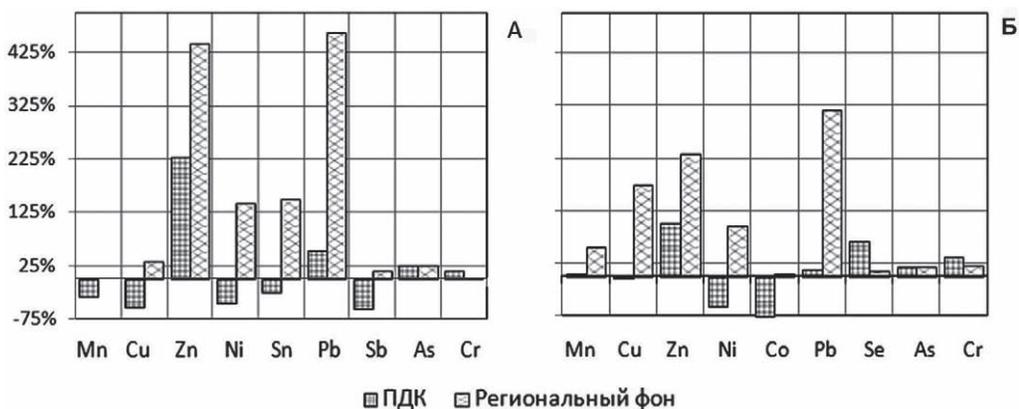


Рис. 2. Превышение ПДК и регионального геохимического фона концентрации тяжелых металлов и металлоидов в почвогрунтах Анадыря в 1994 (А) и 2014 (Б) гг. В 1994 г. не изучалось в пробах выборки содержание Co и Se, в 2014 – Sn и Sb.

Парагенетические и сингенетические ассоциации химических элементов в 2014 г.

№	Наименование ассоциации	Состав	Источник поступления	Условия образования
1	Окислительная гидрооксидная	Fe–Mn	Выветривание основных пород, твердые отходы	Дренаж, кислородная среда
2	Минеральная гравитационная	Fe–Ti–Cr (Ni–Sr)	Выветривание основных пород, водная сепарация, окраска домов	Выветривание, поверхностный сток
3	Субщелочная окислительная солевая и гидроксильная	Zn–Mn–Ca–Ni–Ba (Pb)	Множественные ореолы рассеяния, окраска домов	Дренаж, повышение или понижение pH
4	Слабокислая глеевая хелатная	Cu	Множественные ореолы рассеяния, окраска домов	Дренаж, изменение Eh и pH
5	Нейтральная глеевая хелатная	Co	Множественные ореолы рассеяния, окраска домов	Дренаж, изменение Eh и pH
6	Висмутовая очагов загрязнения	Pb–Bi	Твердые отходы цветных металлов, окраска домов	Складирование отходов
7	Свинцово-цинковая очагов загрязнения	Pb–Zn	Выхлопы автотранспорта, твердые отходы	Ветровой перенос
8	Изоморфная щелочная очагов загрязнения	Ca–Sr	Строительные отходы	Складирование отходов

Конфигурация и расположение моноэлементных аномалий в городском ландшафте, степень концентрирования металлов в них претерпели изменения. Аномалии железа и кальция увеличили свои площади, а аномалии хрома – степень аномальности ядер (рис. 3). Амебовидные аномалии свинца и цинка исчезли на северо-восточных окраинах города, занятых жилой застройкой (см. рис. 3). В рельефе это большей частью хорошо дренируемые поверхностным стоком двory, площадь и улицы, ограниченные обрывами Анадырского лимана. Местоположения моноэлементных аномалий на юге обследованной площади смещены в пространстве относительно друг друга, что, вероятно, указывает на различие источников и факторов концентрирования металлов и металлоидов на геохимических барьерах (см. табл. 2). Уменьшился и уровень концентрации этих металлов в аномалиях.

На южной и юго-восточной окраинах города, в подчиненных ландшафтах, граничащих с поймой р. Казачка, возросла степень концентрирования Cu, Zn (см. рис. 3), а также Ni, Mn и Co.

По состоянию на 1994 г. уровень загрязнения оценивался как умеренно опасный и опасный, а на территории южной промзоны и жилой застройки на левом берегу р. Казачка выделялись очаги чрезвычайно опасного загрязнения (рис. 4) [5]. Практически вся жилая и промышленная застройка в южной части города находилась в зоне опасного загрязнения, которая по контуру соотносима с территорией, отсыпанной грунтами с примесью сухих шлаков котельных (вейстогенные аномалии). Исследования химических элементов-индикаторов (Be, Mo) позволили предположить в 1994 г. атмосферную природу очагов чрезвычайного загрязнения, связанную с выбросами котельных. На это же указывали выход аномалий на правый берег р. Казачка и роза ветров (см. рис. 4).

Уровень загрязнения селитебной зоны Анадыря по показателю Zc в 2014 г. допустимый и умеренно опасный (см. табл. 1, рис. 5). Очаги опасного загрязнения располагаются в промышленной зоне южной окраины города (A–D, см. рис. 5), локально на пустырях (E, F, см. рис. 5). Конфигурация зон умеренно опасного уровня загрязнения в большинстве случаев ориентирована по уклону рельефа местности. Основной вклад в формирование очагов опасного загрязнения внесли аномалии Zn, Mn, Cu, Co, Ni (см. табл. 2, № 3–5), меньший – парагенетические ассоциации Pb–Bi и Pb–Zn. Это свидетельствует в пользу гидрогенной гипотезы загрязнения путем накопления веществ на геохимических барьерах из надмерзлотных потоков.

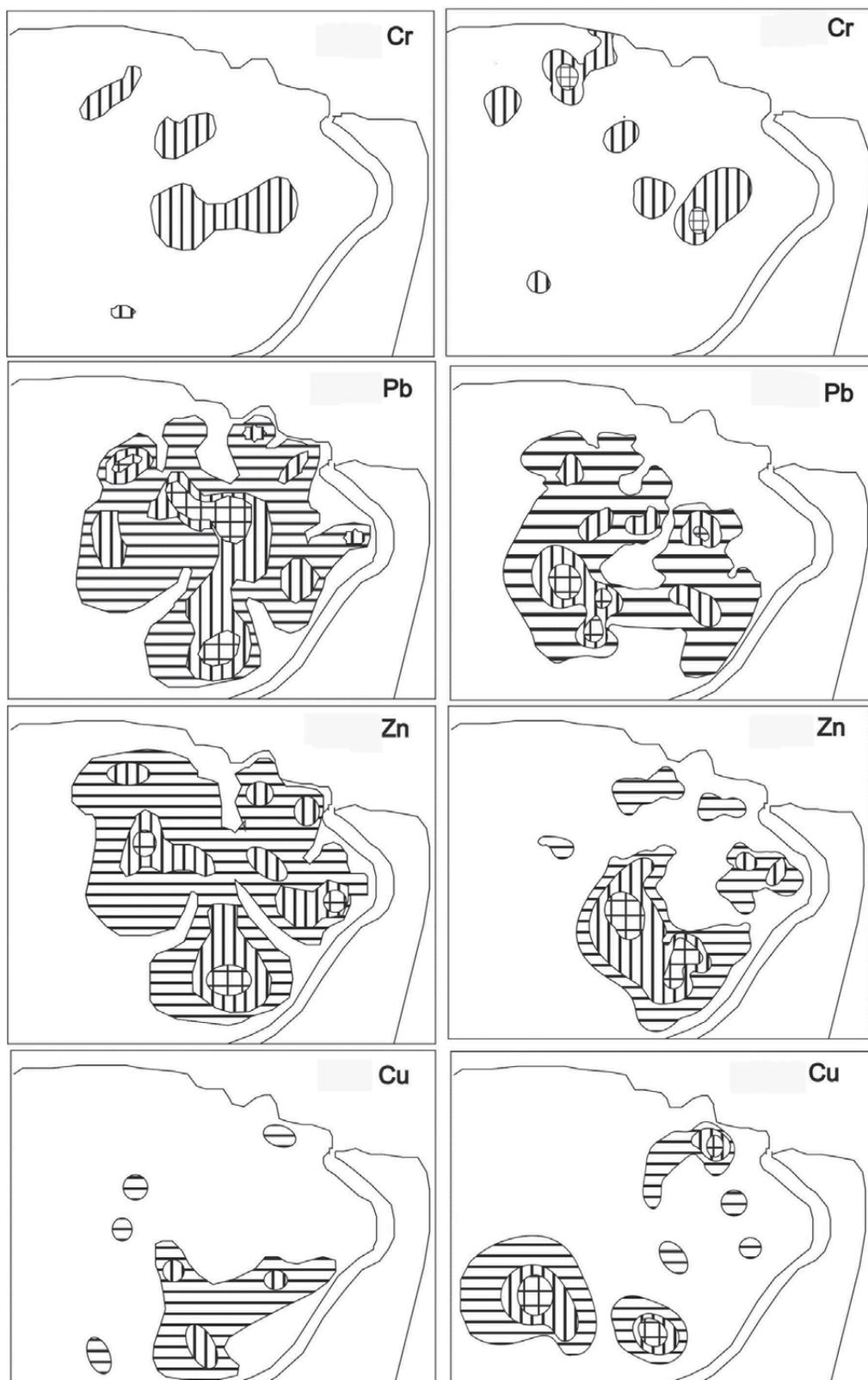


Рис. 3. Моноэлементные геохимические аномалии на схеме Анадыря в 1994 г. (слева) и 2014 г. (справа)

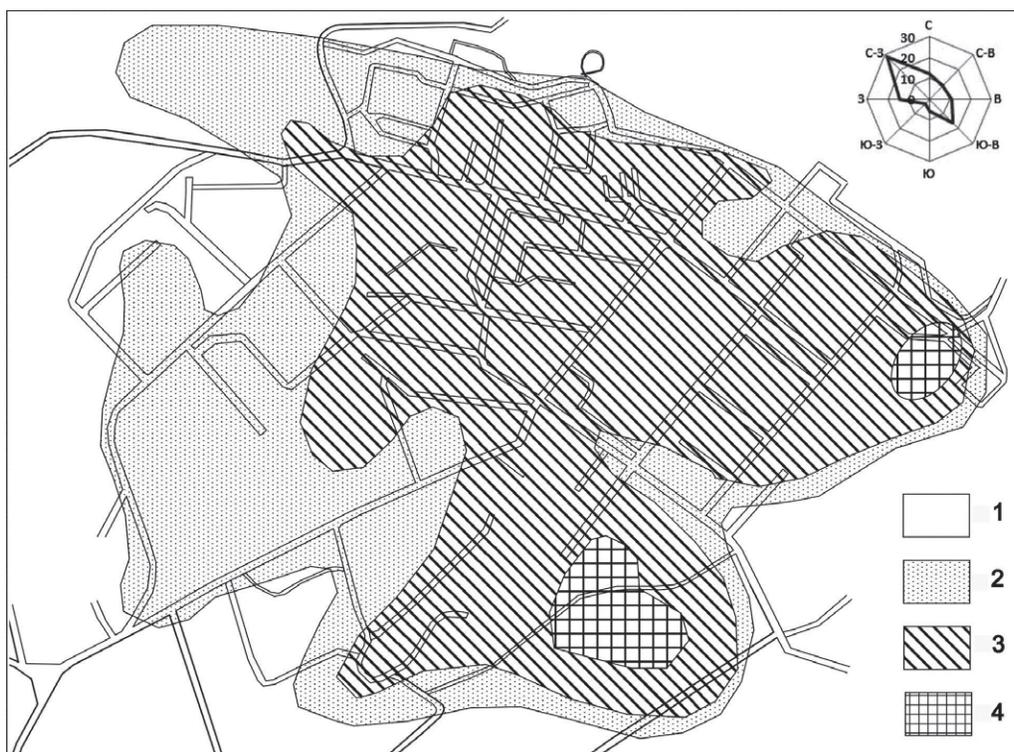


Рис. 4. Очаги загрязнения окружающей среды Анадыря в 1994 г. по суммарному показателю Z_c . Уровни загрязнения: 1 – допустимый ($Z_c = 4-16$); 2 – умеренно опасный ($Z_c = 16-32$); 3 – опасный ($Z_c = 32-128$); 4 – чрезвычайно опасный ($Z_c > 128$)

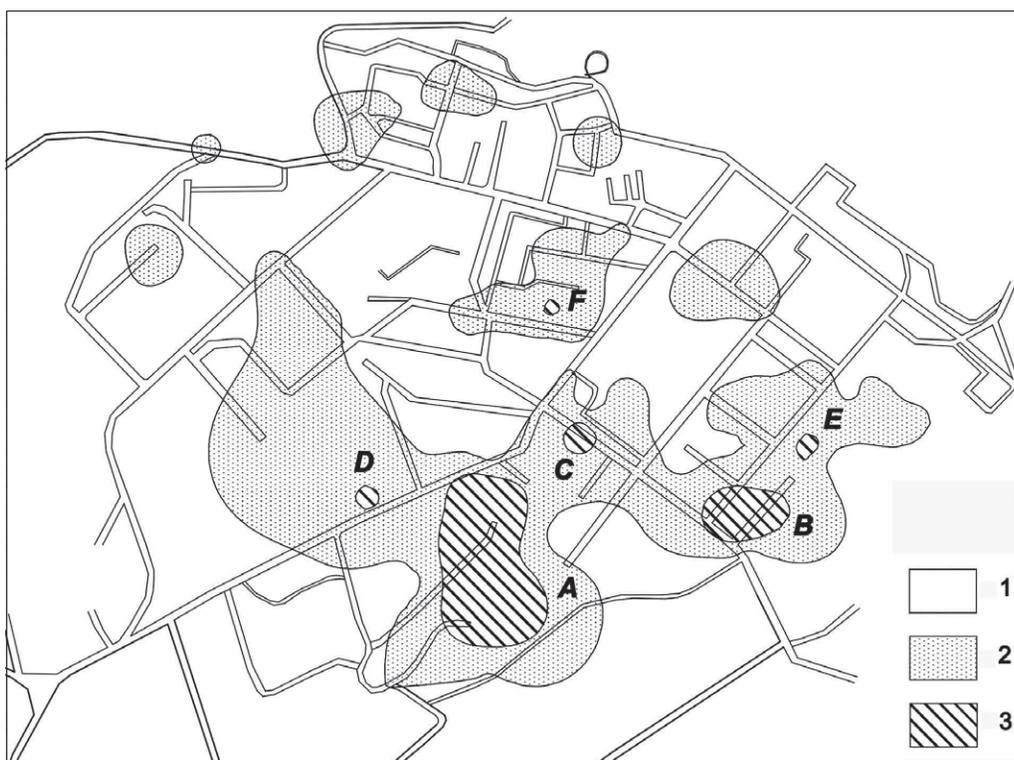


Рис. 5. Очаги загрязнения окружающей среды Анадыря в 2014 г. по суммарному показателю Z_c . Условные обозначения см. на рис. 4. А–F – очаги опасного загрязнения

Заключение

Результаты исследования указывают на улучшение состояния окружающей природной среды в Анадыре в период с 1994 по 2014 г. В 2014 г. уровень загрязнения селитебной зоны по геохимическому суммарному показателю оценен как допустимый и умеренно опасный, в отличие от оценки уровня загрязнения 1994 г. как опасного и чрезвычайно опасного. Анализ изменений уровня и состава загрязнения окружающей природной среды позволяет предположить результат воздействия следующих факторов:

1) централизация системы отопления и коммунальных сетей с закрытием котельных, прекращением утилизации сухих шлаков и локализацией утечек. Ввод в эксплуатацию газомоторной станции;

2) вынос производства строительных материалов, стихийных частных хозяйственных построек и гаражей за пределы городской застройки, снос ветхого жилого фонда;

3) проведение в 2004–2005 гг. кампании по массовому озеленению газонов, замены дорожного полотна и тротуаров. Налаживание системы регулярной уборки и вывоза снега, вывоза твердых отходов, очистки и помывки улиц в летний период;

4) природное выщелачивание и промерзание твердых отходов в составе грунта отсыпки строительных площадок, естественное и искусственное задернение и почвообразование.

Последний фактор нашел отражение в гидрогенных аномалиях в подчиненных ландшафтах по южной периферии города, предположительно на глеевом и кислом геохимических барьерах. Немаловажное значение имеет искусственное формирование торфянистых, насыщенных фульвокислотами почвогрунтов на многочисленных газонах города. Это способствовало усилению выноса вредных веществ в металлоорганической форме, отмеченного для города предыдущими исследованиями [5].

Кроме указанного выше следует признать возросшее влияние загрязнения городской среды автотранспортом. Об этом свидетельствует по-прежнему высокий уровень концентрации в почвогрунтах элементов-индикаторов Pb и Zn, а также увеличение загрязнения никелем. Появление мобильных аномалий Fe, Ti, Cr, Ba, Zn, Cu, Bi можно объяснить возросшим вкладом в загрязнение города минеральных компонентов лакокрасочных материалов, используемых для регулярной наружной покраски зданий. Механизм миграции токсичной минеральной компоненты красок требует специальных исследований.

В заключение отметим, что исторически сложившаяся в публицистике и научной литературе традиция публиковать материалы в области охраны окружающей среды исключительно негативного характера обуславливает односторонность освещения экологических проблем. При этом исследования, имеющие в выводах позитивный результат, привлекают к себе гораздо меньше внимания. Тем самым вне научного интереса оказываются факторы, реально оказавшие благоприятное влияние на экологическую обстановку. Надеемся, что настоящая статья послужит стимулом к обсуждению и систематизации факторов, улучшающих состояние окружающей среды.

Автор признателен К.К. Уяганскому, старшему инженеру, за профессиональный отбор и подготовку проб; Т.В. Никифоровой, технику, за тщательный анализ проб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. Бычинский В.А. Экологическая геохимия. Тяжелые металлы в почвах в зоне влияния промышленного города: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. 189 с.
3. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: метод. указ. МУ 2.1.7.730-9. М.: Минздрав России, 1999. 24 с.
4. Саг Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 336 с.
5. Трегубов О.Д. Геохимия урбанизированных ландшафтов Чукотки. Магадан: Изд-во СВНЦ ДВО РАН, 1997. 120 с.