

*Н.С. Касимов, Е.М. Никифорова, Н.Е. Кошелева, Т.С. Хайбрахманов*

# ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВАО МОСКВЫ).

## 2. ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КАРТА

### Введение

Специальное ландшафтно-геохимическое картографирование в нашей стране начало проводиться с 50-х гг. прошлого века М.А. Глазовской и А.И. Перельманом [10]. Для природных территорий была составлена карта «Геохимические ландшафты СССР» М 1:20 000 000 (М., ГУГК, 1964), опубликованная позднее в Национальном атласе почв Российской Федерации [8]. Она опирается на концепцию Б.Б. Польшова о геохимических связях между компонентами ландшафта, которые осуществляют миграционные потоки химических элементов. Участки земной поверхности с определенным типом миграции элементов стали называться геохимическими ландшафтами [9].

Основные принципы крупномасштабного ландшафтно-геохимического картографирования территорий, измененных техногенезом, сформулированы Н.П. Солнцевой [11]. Отечественный опыт составления крупномасштабных ландшафтно-геохимических карт городских территорий невелик [1, 2, 7, 14], а их методика довольно сложна и окончательно не разработана [3, 14]. Быстро развивающиеся геоинформационные методы и технологии открывают новые возможности для составления ландшафтно-геохимических карт городов, позволяя наиболее полно реализовать преимущества системного подхода при анализе разнообразной информации о структуре и функционировании городских ландшафтов [5, 7, 15]. Для этого необходимы новые методические подходы и приемы изучения и картографирования городских ландшафтов как особых ландшафтно-геохимических систем.

Цель данной статьи – на основе ГИС-технологий разработать и апробировать методику составления ландшафтно-геохимических карт, отражающих дифференциацию городских ландшафтов по условиям миграции и аккумуляции приоритетных поллютантов и определяющих экологическую опасность их загрязнения в различных функциональных

зонах города. В качестве объекта картографирования выбрана территория Восточного административного округа (ВАО) Москвы.

В первой части данной статьи авторами были определены состав картографического обеспечения и содержание карт ландшафтно-геохимической структуры урбанизированных территорий. При геоинформационном картографировании Восточного округа Москвы созданы карты функциональных зон, рыхлых отложений, элементарных геохимических ландшафтов и условий водной миграции, а также геохимические карты, отражающие дифференциацию городских ландшафтов по условиям накопления и уровням загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) почвенного и снежного покровов. Результаты этих исследований послужили основой для выполнения настоящей работы, в которой решались следующие задачи:

- разработать методику крупномасштабного ландшафтно-геохимического картографирования и составить карту южной части территории ВАО Москвы М 1:50 000;
- провести геоинформационный анализ содержания карты и выделенных ландшафтно-функциональных комплексов для оценки качества земель и комфортности проживания населения.

### Методика составления ландшафтно-геохимических карт урбанизированных территорий

При составлении крупномасштабных ландшафтно-геохимических карт на городские территории в качестве основной картографируемой единицы рассматриваются ландшафтно-функциональные комплексы, выделяемые по природным и геохимическим картам и карте функционального зонирования. Это достигается путем совмещения контуров ряда карт из этого перечня с использованием процедуры оверлея слоев в геоинформационных продуктах.

В ходе операций сведения контуров часто возникают случаи несовпадения границ, особенно различного происхождения. В нашем случае при оверлее слоев объектов ландшафтной структуры территории ВАО со слоями функциональных зон возникли значительные различия в расположении контуров результирующих полигонов. В сведенном слое образуется множество мелких объектов, которые следует исключить в принятом масштабе карты 1:50 000. Для этого целесообразно воспользоваться инструментами автоматизированной генерализации геометрии объектов в пакете ArcGIS Eliminate, Simplify и др., предварительно следует определить те границы объектов исходных слоев, которым будет отдаваться предпочтение при генерализации, и цены отбора.

Очевидно, что в современной городской среде по сравнению с природными техногенные факторы оказывают преобладающее влияние на экологическую ситуацию [7, 9]. Это подтверждают значения рассчитанных ранговых коэффициентов корреляции ( $r$ ) между картами загрязнения почвенного и снежного покровов по показателям  $Z_c$  и  $Z_d$  и исходными картами функциональных зон и природных условий территории ВАО. Расчет  $r$  производился по отношению к элементарным ячейкам 50×50 м, на которые согласно стандартной методике [12] была разделена изучаемая территория округа. Значение  $r$  для карты функциональных зон в среднем равно 0,71, а для карт природных условий – 0,36. Поэтому при генерализации контуров они приводились к границам функциональных зон. Исходя из масштаба карты 1:50 000, для мелких объектов был выбран ценз отбора в 5 мм<sup>2</sup>.

В результате были получены полигональные объекты двадцати ландшафтно-функциональных комплексов, в атрибутивных таблицах которых содержится информация о характеристиках ландшафтной и функциональной структуры территории (рис. 1).

В основу легенды карты положена геохимическая систематика городских ландшафтов [9, 13], которая учитывает два главных фактора:

- 1) интенсивность и характер техногенной нагрузки, обуславливающих уровень воздействия основных источников загрязнения;
- 2) ландшафтно-геохимическая обстановка, контролирующая накопление и рассеяние загрязняющих веществ и в конечном итоге определяющая результаты этого воздействия.

Ландшафтный блок легенды характеризует ландшафтно-геохимические условия миграции и дифференциации тяжелых металлов (ТМ), а функциональные зоны отражают интенсивность техногенного воздействия.

Легенда карты – матричная. В правой части легенды показаны функциональные зоны, определяющие привнос ТМ в ландшафты, а в левой части – ландшафты и природные характеристики, обуславливающие класс миграции, особенности катенарного распределения ТМ в почвах и возможность их осадения на барьерах. Их сочетания позволяют выделить ландшафтно-функциональные зоны, свойства которых определяют условия формирования и контрастность геохимических аномалий ТМ в почвах и снеге (рис. 1). Контурные техногенные аномалии в этих средах не совпадают, так как снежный покров характеризует современное состояние, а почвенный – более длительное, многолетнее загрязнение городской среды [4].

Ландшафтно-функциональные комплексы показаны на карте цветовым фоном. Цвет характеризует назначение функциональной зоны, а его интенсивность – положение элементарного ландшафта: чем насыщеннее цвет, тем более подчиненную позицию занимает ландшафт в геохимической катене. Каждый таксон на карте обозначен индексом, в который входит название функциональной зоны, род элементарного ландшафта, состав и генезис рыхлых отложений и мощность техногенных наносов. Например, индекс П-Э<sup>1/1</sup> характеризует элювиальный ландшафт, занятый промышленной зоной, сложенный водноледниковыми каменистыми песками, перекрытыми культурным слоем мощностью менее 1 м.

Уровни загрязнения ТМ снежного и почвенного покровов и градации экологической опасности показаны на карте в изолиниях с помощью суммарных показателей имиссии ТМ  $Z_d$  и загрязнения почв  $Z_c$ . Для характеристики загрязнения снега использованы вертикальные штрихи синего цвета, а для почв – штрихи красного цвета с разным шагом, в зависимости от уровня и степени опасности загрязнения ТМ. Размер и цвет штриховок показывают взаимное расположение техногенных аномалий ТМ в снеге и в почвах.

### Анализ ландшафтно-геохимической карты ВАО

На рассматриваемой территории выявлен ряд комплексных техногенных аномалий ТМ на западе, в центре и на востоке ВАО, расположенных в пределах крупных промзон и жилых кварталов, а также вдоль крупных автомагистралей – МКАД и шоссе Энтузиастов (рис. 1). Значительное загрязнение почвенного покрова во многих районах округа представляет высокую и очень высокую экологическую опасность для здоровья горожан. Загрязнение снега характеризуется низким и средним уровнем накопления ТМ, что соответствует неопасной и умеренно-опасной экологической ситуации.

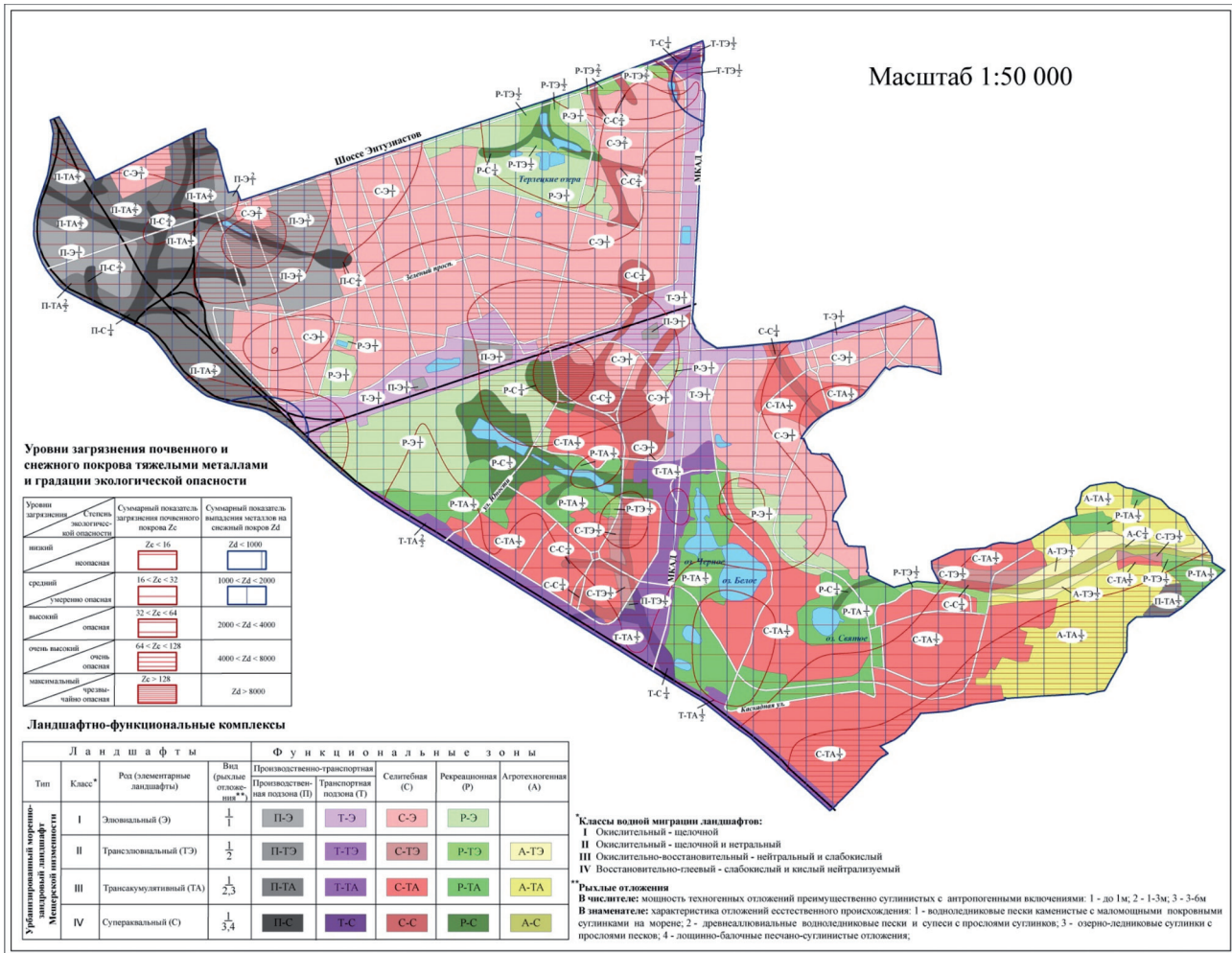


Рис. 1. Ландшафтно-геохимическая карта ВАО г. Москвы

При среднем значении суммарного показателя загрязнения почв  $Z_c = 50$  и  $Z_d = 296$  проанализирована приуроченность участков, имеющих высокий, очень высокий и максимальный уровень загрязнения почв ( $Z_c > 32$ ) и повышенный уровень загрязнения снега ( $Z_d > 500$ ), к различным геохимическим позициям и функциональным зонам. Распространенность этих участков характеризуют площади ландшафтно-функциональных комплексов с  $Z_c > 32$  и  $Z_d > 500$ , которые были определены с помощью процедур геоинформационного анализа и морфометрии. Соотношение их площадей показано на рис. 2а.

Сильно загрязненные почвы наиболее широко распространены в пределах производственной подзоны и агротехногенной зоны, где на них приходится около 50% площади. В крупных промышленных зонах на западе территории ВАО накопление ТМ в почвах приурочено преимущественно к трансаккумулятивным позициям, которые занимают 25% площади производственной подзоны. В меньшей степени загрязнены почвы элювиальных и супераквальных

ландшафтов, где, очевидно, происходит вынос металлов притоками рек Нищенки и Яузы. В почвах агротехногенной зоны на востоке ВАО металлы накапливаются в трансаккумулятивных ландшафтах долины реки Рудневки (45% площади зоны).

В почвах селитебной зоны и транспортной подзоны ТМ аккумулируются главным образом в элювиальных ландшафтах, где расположены обширные выровненные под строительство участки земли. Накопление ТМ в почвах трансаккумулятивных и супераквальных ландшафтов наблюдается в основном в долинах рек Пономарка и Серебрянка, заключенных в коллекторы.

Наименее загрязнены почвы рекреационной зоны, где участки сильного накопления ТМ (35% территории зоны) распределены примерно одинаково между элювиальными и трансаккумулятивными позициями. По сравнению с другими зонами к рекреационным объектам приурочено большее количество водоемов и водотоков, поэтому здесь значительна доля супераквальных позиций с загрязненными почвами.



Аккумуляция ТМ в снежном покрове различных зон и ландшафтов (рис. 2б) обычно не достигает опасного уровня, однако встречаются участки повышенного загрязнения ( $Z_d > 500$ ). Более всего они распространены в производственной подзоне (> 50% ее площади), где техногенные аномалии ТМ в снежном покрове совмещены с загрязнением почв. В пределах крупных промышленных зон ТМ накапливаются в снеге трансаккумулятивных ландшафтов (28% площади производственной подзоны), в меньшей степени загрязнены элювиальные и супераквальные позиции.

В транспортной подзоне отмечено преимущественное загрязнение снега в пределах элювиальных ландшафтов, которое охватывает 18% ее площади, хотя в трансэлювиальных и супераквальных позициях загрязнение тоже достаточно велико. Техногенные аномалии ТМ в снеге этой подзоны приурочены к МКАД с максимумом в долине реки Серебрянки, проходящей под развязкой МКАД и шоссе Энтузиастов.

В меньшей степени загрязнен ТМ снежный покров селитебной и рекреационной зон, очевидно, вследствие барьерного эффекта многоэтажных жилых зданий и депонирующих свойств зеленых насаждений. Накопление ТМ в снеге этих зон приурочено к элювиальным ландшафтам, где проходит

шоссе Энтузиастов, а также к супераквальным и трансэлювиальным ландшафтам долины реки Серебрянки. Практически не загрязнен ТМ снег агротехногенной зоны.

Наложение карт загрязнения ТМ почв и снега позволило выявить существование устойчивых техногенных аномалий на большей части территории округа. По соотношению  $Z_c$  почв и  $Z_d$  пылевых выпадений вблизи промзоны Перово выявлена реликтовая аномалия, наличие которой объясняется закрытием и перепрофилированием ряда стационарных источников выбросов [6]. На севере, вдоль шоссе Энтузиастов, зафиксирована аномалия ТМ, проявляющаяся только в снежном покрове.

### Заключение

На основе функционального зонирования, анализа ландшафтной и геохимической структуры урбанизированных территорий ВАО Москвы разработана методика составления специализированных крупномасштабных ландшафтно-геохимических карт, отражающих природно-антропогенные факторы и уровни загрязнения депонирующих сред. Такие карты определяют местоположение и размеры техногенных геохимических аномалий поллютантов в депонирующих средах городских ландшафтов в зависимости от источников выбросов,

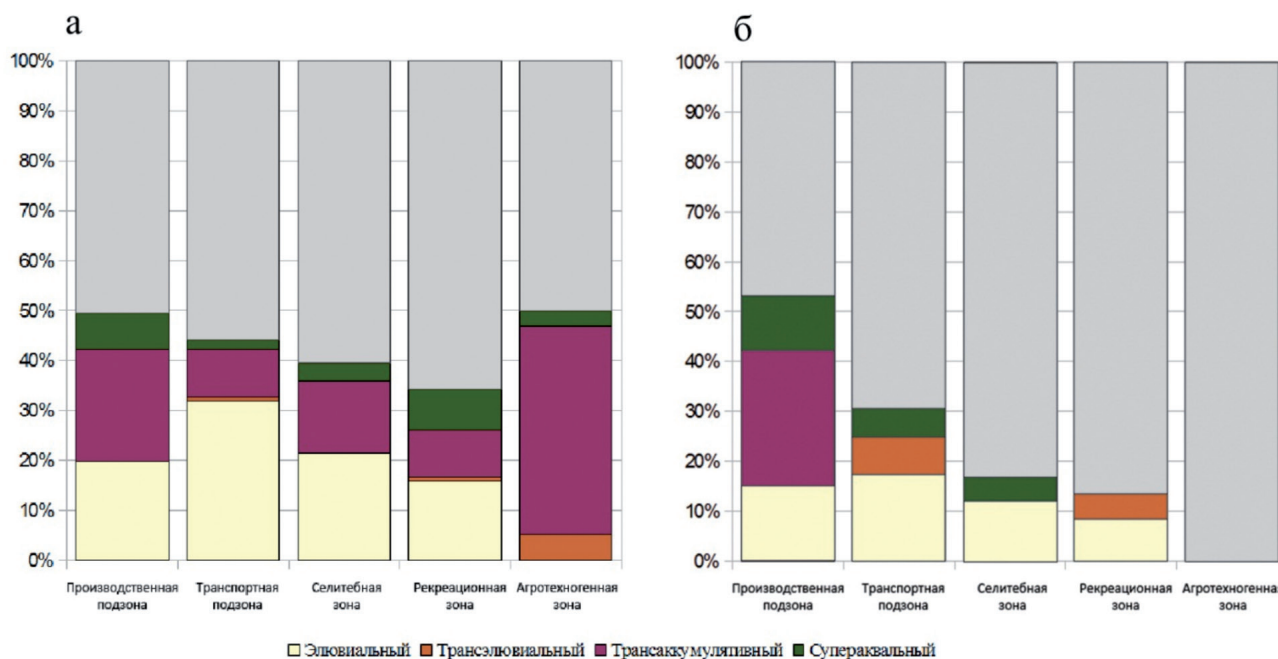


Рис. 2. Распределение площадей с различными уровнями загрязнения ТМ почв (а) и снега (б) в пределах ландшафтно-функциональных зон. Серый цвет соответствует низкому и среднему ( $Z_c > 32$ ) уровням загрязнения почв и неопасному ( $Z_d < 500$ ) уровню загрязнения снега; другими цветами выделены элементарные ландшафты с  $Z_c > 32$  (а) или  $Z_d > 500$  (б)

ландшафтно-геохимических условий миграции загрязняющих веществ.

Составление ландшафтно-геохимических карт городов предполагает оценку и обобщение большого и разнопланового картографического материала, включающего карту функционального зонирования. Она составляется на основе космических снимков высокого разрешения и содержит комплекс характеристик, необходимых для эколого-геохимических исследований. Совместный анализ ряда карт ландшафтной структуры территории позволяет выявить характеристики природной среды, отвечающие за индикацию и депонирование ТМ и других поллютантов в городских ландшафтах. Полиэлементные геохимические карты отражают пространственную структуру техногенных аномалий ТМ в почвах и снежном покрове изучаемой территории.

Предложенная методика апробирована на территории урбанизированной южнотаежной экосистемы – ВАО Москвы. На основе геоинформационного анализа и обобщения серии природных и природно-антропогенных карт разработано содержание и составлена ландшафтно-геохимическая карта М 1:50 000, в легенде которой совмещены техногенные и природные факторы накопления-рассеяния ТМ, определены уровни загрязнения городских ландшафтов и градации его экологической опасности.

Разработанные методические подходы позволили выделить на территории округа 20 ландшафтно-геохимических комплексов, природно-техногенный статус которых определяет качество среды обитания горожан (уровень загрязнения) и оценивает экологические риски их проживания. Для выделенных комплексов рассчитаны площади с различными уровнями и степенью опасности загрязнения ТМ почв и снежного покрова.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2012-2013 годы (соглашения 8339, 8673).

**Ключевые слова:** городская территория, функциональное зонирование, геохимия ландшафта, геоинформационное картографирование, тяжелые металлы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авессаломова И.А. Ландшафтно-функциональные карты при изучении геохимических аномалий в городе // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. – 1986. – № 5. – С. 88-94.
2. Богданов Н.А., Николаевская Е.Л., Морозова Л.Н., Чуйкова Л.Ю., Чуйков Ю.С. Санитарно-гигиеническое состояние территории Астрахани: химическое загрязнение. – Астрахань : Нижневолжский экоцентр, 2011. – 204 с.
3. Буренков Э.К., Морозова И.А., Смирнова Р.С., Соколов Л.С., Челищев Н.Ф. Задачи и методы разномаштабного эколого-геохимического картирования // Эколого-геохимические исследования в районах интенсивного техногенного воздействия : сб. науч. ст. – М. : ИМГРЭ, 1990. – С. 4-15.
4. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саг, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [и др.] – М. : Недра, 1990. – 335 с.
5. Жуков В.Т., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Компьютерное геоэкологическое картографирование. – М. : Научный мир, 1999. – 128 с.
6. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. – 2012. – № 4. – С. 14-25.
7. Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. – М. : Научный мир, 2002. – 196 с.
8. Национальный атлас почв Российской Федерации / Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. – М. : Астрель-АСТ, 2011. – 632 с.
9. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М. : Астрель-2000, 1999. – 768 с.
10. Польшин Б.Б. Избранные труды. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – 751 с.
11. Солнцева Н.П. О принципах крупномасштабного картографирования территорий, измененных техногенезом // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. – 1976. – № 4. – С. 73-78.
12. Тикунин В.С. Моделирование в картографии. – М. : Изд-во Моск. университета, 1997. – 405 с.
13. Хайбрахманов Т.С. Использование космических снимков для экологических исследований городской территории // Охрана окружающей среды и природопользование. – 2011. – № 2. – С. 34-38.
14. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.
15. Экология города / под ред. А.С. Курбатовой, Н.С. Касимова, В.Н. Башкина. – М. : Научный мир, 2004. – 624 с.