

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱՔԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ԱՐԵՎՇԱՏՅԱՆ *Սերգեյ Հենրիկի*

ԵՐԵՎԱՆԻ ՔԱՂԱՔԻ ՏԱՐԱԾՔԻ ԾԱՆՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐՈՎ ԱՂՏՈՏՄԱՆ
ԿԵՆՍԱԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

ԻԴ.00.23 – “Երկրաբնապահպանություն” մասնագիտությամբ
երկրաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության
ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2005

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

АРЕВШАТЯН *Сергей Генрикович*

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ г. ЕРЕВАНА ТЯЖЁЛЫМИ
МЕТАЛЛАМИ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата геологических наук
по специальности 24.00.23 – “Геоэкология”

ЕРЕВАН – 2005

Ատենախոսության թեման հաստատվել է
ՀՀ ԳԱԱ Էկոլոգաճանապարհային հետազոտությունների կենտրոնում

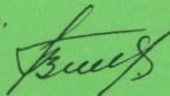
Գիտական ղեկավար՝ աշխարհագրական գիտ. դոկտոր Ռ. Յ. Ռևազյան
Պաշտոնական ղնդդիմախոսներ՝ ՀՀ ԳԱԱ և ՌԲԳ Ակադեմիայի ակադեմիկոս, պրոֆեսոր,
երկրաբանա-հանքաբանական գիտ. դոկտոր Ս. Վ. Գրիգորյան,
ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ, պրոֆեսոր,
կենսաբանական գիտ. դոկտոր Ա. Մ. Բարսեղյան
Առաջատար կազմակերպություն՝ Խ. Աբովյանի անվ. Հայկական պետական մանկավարժական
համալսարանի էկոլոգիայի և բնության պահպանության ու
կենսաբանության մեթոդիկայի դասավանդման ամբիոններ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2005 թ. հունիսի « 29 » –ին, ժամը 15⁰⁰ –ին
ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի 054 մասնագիտական
խորհրդի նիստում: Հասցեն՝ 375014, Երևան, Մարշալ Բաղրամյանի պ. 24ա:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է « 19 » մայիսի 2005թ.:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
երկրաբանա-հանքաբանական գիտ. թեկնածու՝



Յ. Վ. Գրիգորյան

Тема диссертации утверждена
в Центре эколого-ноосферных исследований НАН РА

Научный руководитель: доктор географических наук Р. Г. Реваян
Официальные
оппоненты: Академик НАН РА и РАЕН, профессор,
доктор геолого-минералогических наук С. В. Григорян,
член-корреспондент АСХН РА, профессор,
доктор биологических наук А. М. Барсегян
Ведущая организация: Армянский государственный педагогический университет,
кафедры экологии и охраны окружающей среды и
методики преподавания биологии

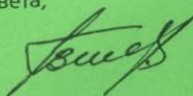
Защита состоится " 29 " июня 2005г. в " 15⁰⁰ " ч. на заседании Специализированного совета 054 Института геологических наук НАН РА.

Адрес: 375014, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан " 19 " мая 2005г.

Учёный секретарь Специализированного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



Г. В. Шагинян

Актуальность. В экосистему г.Еревана техногенным потоком интенсивно приносятся тяжёлые металлы, что придаёт территории черты техногенной провинции, которая сопоставима с экстремальными природными биогеохимическими ситуациями [Виноградов, 1963; Ковальский, 1974; Сагетян, 2004, и др.].

В связи с этим необходима разработка системы оценки загрязнения отдельных компонентов экосистемы города, оценки и прогноза реакции биоты на загрязнение тяжёлыми металлами. Наблюдения за структурно-функциональными откликами организмов являются составной частью биомониторинга, который осуществляется с помощью методов биоиндикации [Израэль, 1980; Manning, Feder, 1980; Кривоуцкий и др., 1987; Биоиндикация..., 1988, 1991, 1993; Джугарян, 2000; Фёдорова, 2002; Черненко, 2002, и др.], среди которых ведущую роль занимает биогеохимический метод фитоиндикации, где растение как ключевой элемент экосистемы служит качественным и количественным биогеохимическим сенсором загрязнения геосред.

Однако не все типы техногенного загрязнения адекватно идентифицируются по специфическим откликам растений. При хронических нагрузках первостепенной задачей является подбор фитоиндикаторов и определение адекватных биогеохимических критериев накопления ими тяжёлых металлов из окружающей среды. Концептуальной основой этих исследований является представление В.И.Вернадского о концентрационной функции живого вещества.

В Армении методы биогеохимической оценки, картирования и фитоиндикации загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами недостаточно разработаны. В связи с интенсивным загрязнением последними экосистемы г.Еревана актуальными представляются исследования по биогеохимической оценке и разработке системы фитоиндикации загрязнения территории.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – биогеохимическая оценка и разработка системы фитоиндикации загрязнения г.Еревана тяжёлыми металлами. Для достижения цели были определены и решались следующие задачи:

- изучение характера загрязнения основных компонентов экосистемы г.Еревана тяжёлыми металлами;
- исследование металлопоглощительного потенциала и определение адекватных биогеохимических критериев растений для фитоиндикации загрязнения среды тяжёлыми металлами;
- комплексное эколого-геохимическое картирование и разработка системы биогеохимической фитоиндикации загрязнения территории г.Еревана тяжёлыми металлами.

Основные положения, выносимые на защиту. Результаты исследований позволили обосновать следующие основные положения:

1. Для территории г.Еревана характерно активное техногенное загрязнение тяжёлыми металлами. В геохимическом потоке тяжёлых металлов доминирующая роль принадлежит группе халькофильных элементов (Pb, Ag, Zn, Cu).
2. Адекватная аккумуляция депонирующими средами (почвы, илы, растения) тяжёлых металлов определяет их информационную ценность и служит критерием для биогеохимической оценки и картирования загрязнения городских территорий этими элементами.
3. Депонирующие биосреды отражают процесс загрязнения комплексно, что обеспечивает возможность экоэкспертизы городских территорий с минимальными затратами на инструментальные измерения степени загрязнения окружающей среды.

Научная новизна:

- впервые в Армении и в г.Ереване для оценки степени загрязнения атмосферы апробирован метод лишеноиндикации;
- впервые дана комплексная биогеохимическая оценка загрязнения тяжёлыми металлами различных геосред экосистемы г.Еревана;
- изучен металлопоглощительный потенциал и определены биогеохимические индикационные показатели растений в отношении загрязнения отдельных компонентов экосистемы г.Еревана тяжёлыми металлами;
- составлены комплексные карты-схемы (М 1 : 10000) загрязнения территории г.Еревана тяжёлыми металлами по данным опробования почвенного покрова и биогеохимической фитоиндикации.

Научная и практическая значимость.

Предложенный автором метод комплексного фитоиндикационного картирования опубликован в справочнике "Hi-Tech" (2000). Составленная в соавторстве с А.К. Сагателяном и Л.В. Саакян карта-схема загрязнения почвенного покрова г.Еревана (М 1:10000) по СПК тяжёлых металлов включена в новый генплан г.Еревана (2003).

Изложенные в диссертации положения и выводы могут быть использованы

- для проведения экзспертизы и получения комплексной картины загрязнения городских территорий тяжёлыми металлами с минимальными затратами на инструментальные измерения;
- при разработке мероприятий по экологическому мониторингу на техногенно изменённых территориях;
- при подборе ассортимента деревьев для фитомелиорации техногенных территорий.

Изложенные в диссертации материалы и система фитоиндикации получены в результате выполнения 4-х госбюджетных тем с участием автора (1990-1995, 1996-1999, 2000-2001, 2002-2004) Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА.

Апробация. Результаты исследований доложены на республ. науч. конф. "Загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами" (Ереван, 1996); II межд. совещ. "Геохимия биосферы" (Новороссийск, 1999); межд. симпоз. "Геохимия ландшафтов, палеоэкология человека и этногенез" (Улан-Уде, 1999); межд. семинаре "Конверсионный потенциал Армении и программы МНТЦ" (Ереван, 2000); IV межд. экологич. конф. студентов и молодых учёных "Роль науки и образования для устойчивого развития на пороге третьего тысячелетия" (Москва, 2000); II республ. молодёж. науч. конф. "XXI век: экологическая наука в Армении" (Ереван, 2001); XI межд. симпоз. по биоиндикаторам "Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга" (Сыктывкар, 2001); межд. школе "Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды" (Новороссийск, 2003); VII межд. экологич. конф. студентов и молодых учёных "Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития" (Москва, 2003).

Публикации. Из 47 публикаций, в том числе двух изданий Толкового экологического словаря (соавторы – А.А. Мурадян, А.А. Оганесян) на армянском языке (1997, 2001), по материалам диссертации опубликовано 18 работ. За время работы над диссертацией автор являлся ответственным редактором /секретарём 2-х вып. Сборника статей молодых научных сотрудников (1,1999; 1)2,2001), сборников материалов 4-х республ. молодёж. науч. конф. "XXI век: экологическая наука в Армении" (Ереван, 2000-2003) и 4-х выпусков электронного журнала НАН РА Естественные науки (12003; 1(2), 2(3)2004; 1(4)2005). Автор дважды (1998,

2001) премировался Президиумом НАН РА и Фондом Галуста Гюльбенкяна; в 2003г. избран Советником при Президиуме Российской Академии Естественных Наук (Москва).

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, выводов, указателя литературы (содержащего 250 работ, из них 57 иностранных) и приложения. Основная часть работы изложена на 140 стр., содержит 20 таблиц, 19 рисунков (из них 2 карты-схемы). Приложение объёмом 18 стр. содержит 2 таблицы, 5 карт-схем.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность своему научному руководителю – доктору геогр. н. Р.Г. Реваянцу за всестороннюю поддержку в организации и проведении исследований. Автор приносит благодарность директору Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА, доктору геол.-минерал. н. А.К. Сагателяну, доктору биол. н. О.А. Джугарян, кандидату геол. н. С.А. Аракеляну, кандидату геол.-минерал. н. Т.Н. Кюреган, кандидату биол. н. А.А. Оганесян, А.А. Мурадян, В.А. Манакян и всем своим коллегам за многолетнее сотрудничество, консультации и критический просмотр работы.

В автореферате использованы следующие аббревиатуры: ТМ – тяжёлые металлы, СПК – суммарный показатель концентрации, ПДК – предельно допустимые концентрации, БГХА, – биогеохимическая активность, A_x – коэффициент биологического поглощения, Кс – коэффициент концентрации, БД – база данных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР, КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ФИТОИНДИКАЦИИ

I.1. Краткий исторический обзор. Изложена история становления биоиндикационных исследований, их современное состояние и использование в мониторинге загрязнения окружающей среды ТМ в национальных программах ряда стран Европы, а также в Армении.

I.2. Концепция и методические аспекты. Проанализированы работы по разработке основ фитоиндикации, изложены концепция и методические подходы к решению задач по биогеохимической фитоиндикации загрязнения ТМ окружающей среды. На основе критического анализа литературы выдвинут ряд принципиальных положений.

Глава II. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТОВ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

II.1. Характеристика района и объектов исследований. Территория Еревана ($S \approx 225 \text{ км}^2$) расположена в пологой котловине (перепады высот 800-1400 м над урм.), имеет разнообразные формы рельефа и сложена проаллювиальными, или аллювиальными и субэвральными отложениями [Асланян, 1958; Габриелян, 1962]. Здесь различают 2 ландшафтных пояса [Григорян, 1975; Погосян, 1986]: полупустынный и сухостепной. **Климат** сухой континентальный. **Почвы** полупустынные, маломощные (12-40 см), каменистые, бедные гумусом (1-1,5%), бесструктурные, скелетные [Погосов, 1943; Мириманян, 1961; Эдилян и др., 1976]. **Растительность:** в естественном растительном покрове преобладает полынно-солянковая ассоциация; эдификатор – *Artemisia fragrans* Willd. (Магакян, 1941; Тахтаджян, 1941). На городских территориях доминируют интродуценты: *Populus alba* L., *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Acer negundo* L., *Ulmus pumila* L. и др.

II.2. Материалы и методы исследований. Биогеохимическое опробование территории города велось в течение 1990-2003гг. по плану-схеме (М 1:10000). В "потенциально чистых" местах (лесопарки) сеть опробования разрежалась и сгущалась у заводов и на прилегающих к ним территориях. Материалом исследований служили наиболее распространённые в озеленении виды деревьев (*Populus alba* L., *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L.), тростник южный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel) и лишайник (*Parmelia saxatilis* (L.) Ach.). Отбор и обработка почв, вод, снега и илов и сопряжённых с ними растений проводились по методам, разработанным в ИМГРЭ и Почвенном ин-те им. В.В. Докучаева [Важенин и др., 1977; Методические рекомендации..., 1981, 1982]. Пробы анализировались в лабораториях Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ИМГРЭ, ИГН НАН РА и ЦЭНИ НАН РА: методами количественного спектрального (ДФС-8) и атомно-абсорбционного анализом (AAS-1), определялись содержания ТМ; pH и ионный состав – общепринятыми методами [Аринушкина, 1970]. В почвах определялись валовая и подвижная (1N HCl, 1:5) формы элементов. В течение работы отобрано и проанализировано около 2500 проб: 2000 – лито- и гидрохимических, 500 – биогеохимических.

Минимально-аномальные значения рассчитаны по методике А.П. Соловова [1978]. Накопление ТМ в депонирующих средах определялось методом сопоставления фактических концентраций с данными фоновых участков и с кларками в литосфере [Виноградов, 1962], с кларками живого вещества [Bowen, 1979]. При изучении поглощения ТМ в средах использован ряд показателей: коэффициент техногенной концентрации или аномальности: $K_c = C_i / C_f$ [Беус, Григорян, 1975; Перельман, Касимов, 1999]; коэффициент биологического поглощения: $A_x = C_x / N_x$ [Перельман, Касимов, 1999]; коэффициент биогеохимической активности: $BGXA_x = \Sigma A_x / n$ [Айвазян, 1974]; суммарный показатель концентрации (СПК): $Z_c = \Sigma K_c \cdot (n-1)$ [Сагет, 1982].

Для выявления достоверных взаимосвязей между изучаемыми ТМ в отдельных субстратах, а также в системе "среда–растение" проведена статистическая обработка материала на базе программного пакета STATISTICA 6.0. Эколого-геохимическое картирование загрязнения территории г.Еревана проведено после создания компьютерной БД содержаний ТМ в почвах и растениях. На основе БД с использованием программных пакетов GIS Surfer 6.04 и ArcView 3.2 построены карты-схемы. Для биогеохимического индикационного картирования матрица параметров (*MnM*) обработана с помощью кластерного анализа и усовершенствованного алгоритма расчёта коэффициента подобия, где N – число химических элементов в выбранном кластере, X и Y – элементы e и f кластеров; элементы (i, j) представляют собой степень близости i го и j го кластеров.

$$K_{e,f} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^N X_i \sum_{j=1}^N Y_j}{N}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2}{N} \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^N Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N Y_i \right)^2}{N} \right]}}$$

Глава III. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ г. ЕРЕВАНА ТМ И ПОИСК АДЕКВАТНЫХ ФИТОИНДИКАТОРОВ

III.1. Загрязнение воздушного бассейна г.Еревана ТМ и лишайноиндикация.

III.1.1. Содержание ТМ в воздушном бассейне.

Исследования загрязнения снежного покрова на территории Еревана за период 1989-1995гг. показали, что уменьшение объёмов промышленного производства привело к снижению интенсивности геохимического потока и изменению качественных рядов ТМ (рис. 1)

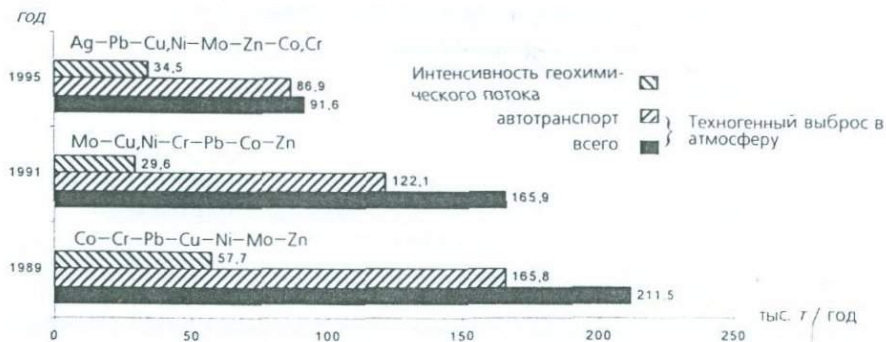


Рис. 1. Динамика интенсивности и качественный состав геохимического потока ТМ в атмосфере г. Еревана.

[Сагателян, 1999, 2004]. В 1989г. на полную мощность работала промышленность и автотранспорт, суммарный выброс которых составлял 211,5 тыс.т /год; интенсивность геохимического потока составляла 57,7. В 1991г. со спадом выбросов отмечено двукратное снижение интенсивности геохимического потока (29,6) и изменение его качественного состава. В 1995г. в связи с резким спадом уровня промышленности суммарный выброс составил 91,6 тыс.т/год (86,9 тыс.т/год — выбросы автотранспорта); интенсивность геохимического потока несколько увеличилась (34,5) и в его качественном ряду первые места заняли Ag и Pb, что связано с увеличением количества фотолабораторий и ювелирных цехов (Ag) и завозом этилированного бензина (Pb). За период 1989-1995гг. на фоне падения объемов выбросов наблюдается относительный рост загрязнения окружающей среды Pb, содержание которого в твердом осадке снега составило (мг/кг): 1989г. — 400, 1991г. — 225, 1995г. — 384, что связано с повышением в объеме выбросов доли работающего на этилированном бензине автотранспорта: 73 % (1989г.) — 94 % (1995г.). В геохимических рядах Pb занимает одно из ведущих мест и является одним из распространенных элементов-загрязнителей.

III.1.2. Лишайники — индикаторы загрязнения атмосферы ТМ.

Краткая характеристика изученности лишенофлоры Армении. Анализ лишенологических работ по Армении показал недостаточную изученность её лишенофлоры, что на сегодня затрудняет проведение геоботанической лишеноиндикации [Аревшатян, 2001].

Лишеноиндикация загрязнения атмосферы ТМ. Маршрутное геоботаническое обследование территории показало, что на основной её части (до 1250м над ур.м.) лишайниковый покров почти отсутствует. В соответствии с классификацией Р. Сернандера [1926], разработанной для г.Стокгольма, по обилию лишайников центр и юг города отнесены к зоне лишайниковой пустыни, вслед за которой на уровне Канакерских склонов видовой арсенал представлен ацидофильными эпифитами (*Xanthoria parietina*, *Physcia pulverulenta*) и эпилитами (*Parmelia saxatilis*, *Xanthoria elegans* и др.). У *P. saxatilis* в различных зонах города с ростом загрязнения возрастает роль изидиозно-апотециальных и изидиозных талломов; в зоне максимального загрязнения лишайники отсутствуют (рис. 2). В фоновых районах отмечены лишь апотециальные и изидиозно-апотециальные талломы. Эти результаты не достаточны для лишеноиндикации, поскольку большинство видов имеет дизъюнктивный ареал и их природа слабо изучена. Исследования были сфокусированы на биогеохимическом методе.

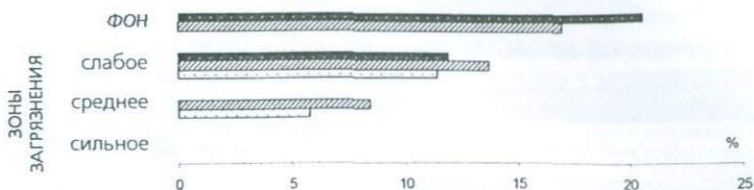


Рис. 2. Соотношение количества апотециальных и изидиозных экземпляров *Parmelia saxatilis* в различных зонах загрязнения, %.

Формы талломов: □ – изидиозные, ▨ – изидиозно-апотециальные, ▤ – только апотециальные.

Из 3-х распространённых в Ереване лишайников для исследований выбран космополитный и толерантный туфовый эпилит *P. saxatilis*. Из табл. 1 видна разница накопления ТМ в талломах *P. saxatilis* на фоне и в городе.

Табл. 1. Интенсивность накопления и коэффициент биогеохимической активности (БГХА_x) ТМ в *P. saxatilis* в условиях фона и города. А_x □ – 0,п и менее; ▨ – п; ■ – 10п.

Район*		А _x ТМ							Интен-сивность	БГХА _x	
		Mo	Ag	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn			Co
Фон		1	1,07	2	1,98	0,93	1,07	0,45	0,53	8,02	1,15
Ереван	ЕБС	21,8	22,5	3,1	2,6	1,7	1,6	1,1	0,1	54,6** 6,8	6,8 5,9
	КАНАЗ	38,2	9,4	3,1	2,6	3,1	2,1	1,1	0,2	59,8 7,46	7,5 6,52

* Районы: КАНАЗ – Канакерский алюминиевый завод; ЕБС – Ереванский ботанический сад; ** в числителе значение интенсивности в городе, в знаменателе – превышение над фоновым значением БГХА_x.

Основная доля техногенной нагрузки приходится на Мо – в 38,2 (КАНАЗ) и 21,8 (ЕБС) раз; Ag – в 9,4 и 22,5 соответственно. Вклад остальных элементов (Pb, Cu, Ni) незначителен и находится на уровне фона. Несколько завышены значения Cr (в 3 раза), а у Co – интенсивность накопления понижена. Показатель БГХА_x в городе (по сравнению с фоном) выше в 5,9-6,5 раз. Разница отмечается в накоплении Ag, наибольшие показатели которого зафиксированы в Ереванском ботаническом саду. Территория последнего отличается от КАНАЗ-а близостью к центру города и к крупной Мясникянской автомагистрали, что сказывается на геохимии лишайника. Исходя из анализа биогеохимических особенностей *P. saxatilis*, можем заключить, что в условиях загрязнения наблюдается явная избирательность данного биоиндикатора к накоплению ряда ТМ, которые по степени накопления условно разделены на 3 группы: 1) элементы сильного накопления (10п) – Mo, Ag; 2) элементы среднего захвата (п) – Pb, Cu, Cr, Ni, Zn; 3) элемент слабого захвата (0,п и меньше) – Co.

Сопрежённый анализ содержания ТМ в снеговом покрове и лишайниках (табл. 2) показал, что качественный ряд в лишайниках является переходным между рядами геохимических потоков ТМ атмосферного загрязнения 1991 и 1995гг.

Таким образом, с ростом загрязнения у *P. saxatilis* уменьшается количество апотециальных талломов и возрастает число изидиозных; в городе по сравнению с фоном у *P. saxatilis* отмечен рост биогеохимической активности накопления ТМ, однако отмечается индивидуальная селективность к ряду металлов; качественный ряд ТМ в лишайнике адекватен техногенному геохимическому ряду в атмосфере.

Табл. 2 Ряды ТМ в лишайниках и в снеговом покрове (1991, 1995гг.).

Фон		Лишайник	Pb—Cu—Ag,Ni—Mo—Cr—Co—Zn
Город	1995		Mo—Ag—Pb—Cu—Cr—Ni—Zn—Co
	1991	Снег	Mo—Cu,Ni—Cr—Pb—Co—Zn
	1995		Ag—Pb—Cu,Ni—Mo—Zn—Co,Cr

III.2. Биогеохимическая фитоиндикация загрязнения объектов окружающей среды ТМ.

III.2.1. Характеристика загрязнения почв.

Природные особенности почв. Для почвенного профиля характерны сильная пропитка карбонатами нижних горизонтов, увеличение доли тонкодисперсных фракций от почвообразующей породы к гумусовому горизонту — с резким уменьшением частиц более 1мм, слабощелочная реакция профиля, низкая гумусность, большая ёмкость поглощения. Нижняя часть карбонатного слоя относится к коре выветривания, мощность которой, по Г.К. Габриеляну [1968], достигает 1-1,5м. В её образовании решающее значение принадлежит атмосферной миграции: на 1км² базальтового плато в предгорьях ежегодно выпадает 15-17г бикарбоната кальция. Почво-грунты города по содержанию бикарбонат-иона относительно однородны (среднее содержание 40,5мг / 100г), крайние значения варьируют в следующих пределах — 26,14-57,26мг / 100г почвы. Отмеченные особенности почв связаны с их генезисом на продуктах выветривания основных вулканических пород и воздействием циркулирующих в продуктах переотложений растворов подпочвенных вод.

При сложившемся комплексе физико-механических и химических условий в почвенном покрове на территории города процесс выщелачивания ТМ в глубокие горизонты затруднён, особенно на территориях с максимальными концентрациями бикарбонатов. Привносимые на территорию города ТМ, с одной стороны, будут закрепляться в верхнем профиле почв в основном за счёт комплексообразования с карбонатами и в меньшей степени с гумусом, с другой — вынос аккумулирующихся масс ТМ возможен с поверхностным стоком, а также механическим, химическим и органическим выветриванием.

Особенности загрязнения почвенного покрова. Литологически территория города сложена лавами, туфами и четвертичными отложениями. В развитых на этой основе почвах содержания ТМ близки к литосферным кларкам. В целом, природная геохимическая ассоциация ТМ в почвах представлена слабоинтенсивным рядом (интенсивность — 8,74): Pb_(2,5)-Cu_(1,27)-Zn_(1,2)-Mo_(1,09)>Cr_(0,82)-Ag_(0,7)-Ni_(0,6)-Co_(0,55) (в скобках приведены Кс в отношении кларка в литосфере). Почвы г.Еревана в результате длительной контаминации приобрели хронический и неоднородный характер загрязнения ТМ [Сагателян и др., 1996; Аракелян, Симонян, 1996; Сагателян, 1999, 2004, и др.].

Краткий поэлементный анализ данных.

Pb: минимальные валовые концентрации (0,0005 %) значительно ниже фона; средние значения — 0,025 % (Кс=6,37); максимальные — 0,6 % (Кс=150) — у лампового завода. Аномалии в основном приурочены к территориям с повышенной автотранспортно-промышленной нагрузкой, а также к типографиям. На территории города Pb играет доминирующую роль в формировании полей загрязнения.

Ag: минимальные содержания — 0,1·10⁻⁶ %; средние — 22·10⁻⁶ % (Кс=4,4); максимальные — 2·10⁻³ % (Кс=300) — вдоль пр. Адмирала Исакова. Поля загрязнения приурочены к центру, северу и северо-востоку города. Как и Pb, Ag занимает доминирующее положение в формиро-

вании аномальных площадей полиэлементного загрязнения. Загрязнение почв Ag имеет сложное происхождение: в первую очередь, это связано с неконтролируемыми выбросами отходов фотолaborаторий, а также с работой ювелирных и зеркальных цехов.

Cu. Наиболее контрастные поля приурочены к территориям с многолетними выбросами и отходами от металлоёмких производственных предприятий в недалёком прошлом, к внутригородским огородам, где в сельскохозяйственных целях широко используется медный купорос, и др. территориям. В целом, по городу минимальные концентрации Cu – 0,001%; средние – 0,012 % ($K_c=2,1$); максимальные – 0,5 % ($K_c=166,7$; район НПО “Наирит”, “Поливинилацетат”-а, ТЭС).

Zn по характеру распространения проявляет большую схожесть с Pb, чем с другими элементами; также широко распространён по всей территории города, однако в отличие от Pb средние значения K_c вдвое ниже. Минимальные значения Zn – 0,002 % ($K_c=0,2$); средние – 0,036 % ($K_c=3,7$); максимальные – 0,6 % ($K_c=100$).

Cr. Основная часть территории города занята сплошными полями с околочларковыми концентрациями. Значимые аномалии приурочены к северным, северо-восточным и южным частям и пространственно сопряжены с аномалиями доминирующих халькофильных элементов (Pb, Ag, Zn). По средним оценкам минимальные концентрации Cr – 0,001%, средние – 0,021% ($K_c=3,2$), максимальные – 0,3 % ($K_c=147,1$) – на юго-востоке города (Эребуни, Нор-Ареш).

Mo равномерно распространён на территории; локальные аномалии развиты в направлении от центра к югу города. Минимальное значение Mo – 0,000008 %, среднее – 0,00017 % ($K_c=1,4$), максимальное – 0,01 % ($K_c=83,3$) – на крайнем юге города (территория НПО “Наирит” и ТЭС), которая примыкает к заводу “Чистое железо”. В производстве последнего используется каджаранский медно-молибденовый концентрат.

Co на территории города почти не создаёт контрастных аномалий. Минимальные значения – 0,00015 %, средние – 0,0014 % ($K_c=1,4$), максимальные – 0,005 % ($K_c=5$). Природа загрязнения этим элементом связана с автотранспортом. В Ереване Co не относится к разряду приоритетных загрязнителей.

Ni. По средним оценкам минимальные содержания Ni составляют 0,001%, средние – 0,006 % ($K_c=1,8$), максимальные – 0,2 % ($K_c=57,2$) – на юге города.

Доминирующая роль в формировании полиэлементного загрязнения почв на территории города принадлежит группе халькофильных элементов (Pb, Ag, Zn, Cu). Роль сидерофильных элементов (Mo, Ni, Co, Cr) незначительна и проявляется лишь в образовании локальных аномалий около конкретных источников загрязнения.

Для выявления связей между элементами матрица БД их валовых содержаний подвергнута парному корреляционному и кластерному анализам (рис. 3). Элементы образуют два кластера: I) Pb-Cu и Ni-Ag-Mo-Zn; II) Cr-Co. Первый кластер состоит из 2-х подкластеров: Ia) ассоциация элементов с максимальными значениями парных коэффициентов корреляции Ag ($r=0,28$), Ni ($r=0,22$), Mo, которые посредством Zn объединены с подкластером Ib – Cu ($r=0,14$). Pb. Обособлена от кластера I слабая ассоциация Co ($r=0,12$) Cr.

В условиях загрязнения с ростом валовых содержаний элементов наблюдается рост доли подвижных форм (рис. 4). Зависимость между подвижной (п) и валовой (в) формами элементов описывается нелинейной функцией: $p = x \cdot v^2 + y \cdot v + z$, где x, y, z – константы для каждого элемента. Для Cu и Pb зависимость подвижных форм от валовых имеет логарифмический рост, т.е. концентрация подвижных форм элементов на определенном этапе достигает оптимума. Аналогичная зависимость наблюдается для Zn, однако нам не известен оптимум. У Ni –, наоборот, экспоненциальный рост.

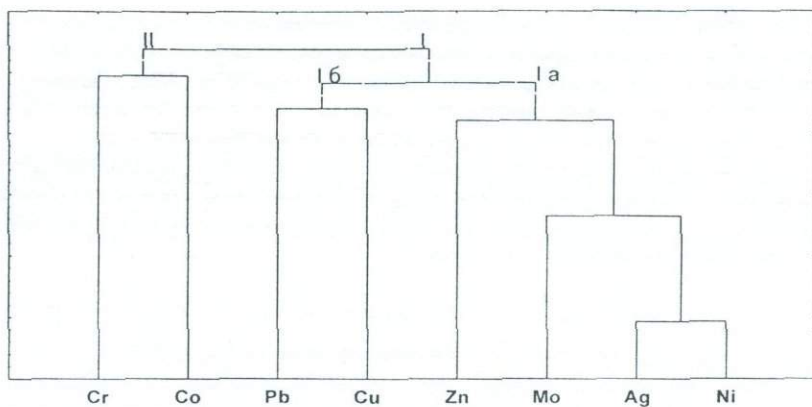


Рис. 3 Дендрограмма ассоциаций ТМ в почвах. По результатам кластерного анализа.

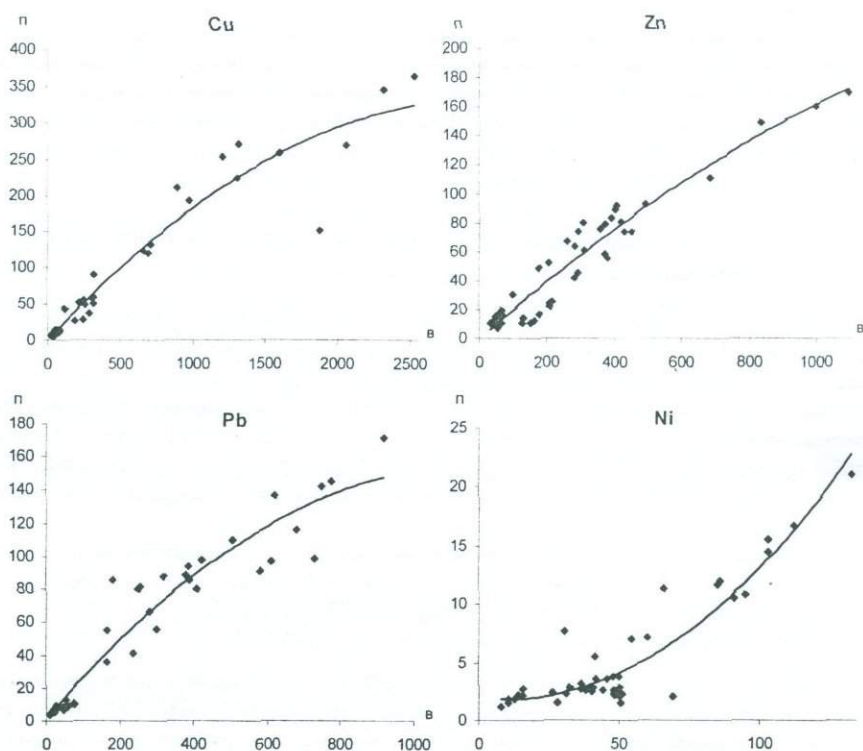


Рис. 4. Зависимость подвижных форм ТМ (п) от валовых (в) в почвах г. Еревана, мг/кг.

Соотношение выхода подвижных фракций относительно валовых содержаний (C_v/C_n) на фоновых и аномальных участках различается в зависимости от свойств ТМ. Согласно табл. 3, по изменению C_v/C_n выделяются 2 группы элементов: 1) Ni, выход подвижных фракций которого в загрязнённых почвах растёт; 2) элементы (Cu, Zn, Pb), выход подвижных фракций которых ниже или близок к фону, за исключением интенсивных аномалий. Содержание подвижных форм элементов варьирует в различных частях города. Рост доли подвижных форм на аномальных территориях обусловлен техногенным привносом и мобилизацией элементов от постоянных промышленно-транспортных источников, а также ландшафтно-геохимическими особенностями участка.

Табл. 3. Соотношение валовых (C_v) и кислоторастворимых (C_n) форм ТМ в почвах города.

Участки		Соотношения форм ТМ (C_v/C_n , %)			
		Cu	Zn	Pb	Ni
Фон		19,2	19,5	27,7	7,7
Город, n=36	min	8,0	6,8	13,1	2,9
	med	18,7	19,9	24,1	10,3
	max	36,2	33,6	47,4	24,9

Приведённые факты имеют важное значение для экотоксикологического ранжирования территории города с позиций здоровья населения и требуют организации сопряжённых эколого-геохимических и медико-биологических исследований на сильно загрязнённых территориях. Реабилитация таких территорий возможна путём функционального озеленения с учётом металлопоглощительного потенциала растений, благодаря чему возможно значительно уменьшить интенсивность загрязнения.

III.2.2. Характеристика загрязнения древесных растений и поиск адекватных фитоиндикаторов.

Средние уровни содержаний ТМ в растениях города незначительно отличаются от местного биогеохимического фона. Исключение составляет Cu у всех видов ($K_c \leq 10$) и Ag – у *R. pseudoacacia* ($K_c = 5,2$). Одновременно на территории города существуют контрастные аномальные зоны, непосредственно связанные с техногенными источниками. Особенно контрастны аномалии Mo – у *F. excelsior* ($K_c = 78,7$) и *R. pseudoacacia* ($K_c = 37,5$), Ag – у *R. pseudoacacia* ($K_c = 60$), Cu – у *R. pseudoacacia* ($K_c = 44,4$), *F. excelsior* ($K_c = 25$), *P. alba* ($K_c = 22,2$). По средним показателям K_c ТМ в исследуемых видах установлены следующие биогеохимические ряды:

вид	биогеохимический ряд	интенсивность
<i>P. alba</i>	– $Cu_{(10,1)}-Zn_{(2)}-Ni, Pb_{(1,5)}-Co_{(1,3)}-Mo_{(1)} > Ag_{(0,6)}$	18,0;
<i>F. excelsior</i>	– $Cu_{(10,1)}-Mo_{(1,8)}-Ni_{(1,6)}-Zn_{(1,1)}-Pb_{(1)} > Co_{(0,9)}-Ag_{(0,6)}$	17,1;
<i>R. pseudoacacia</i>	– $Cu_{(1,2)}-Ag_{(5,2)}-Mo_{(3,3)}-Pb_{(1,9)}-Ni_{(1,3)} > Co, Zn_{(0,9)}$	24,7.

В рядах элементы относятся к степени сильного и слабого накопления. У двух первых видов Ag не накапливается, что говорит о наличии барьерной функции накопления этого элемента в условиях среднего загрязнения. Максимальной интенсивностью накопления ТМ отличается *R. pseudoacacia* (24,7), который помимо биогенного накопления Cu отличается накоплением Ag ($K_c = 5,2$) и Mo ($K_c = 3,3$), что играет немаловажную роль для выделения этого вида для биогеохимической индикации загрязнения территории города.

Для полей максимальных концентраций ТМ установлены следующие ряды:

вид	биогеохимический ряд	интенсивность
<i>P. alba</i>	$-Cu_{(22,2)}-Mo_{(16,7)}-Zn,Ni_{(12,5)}>Ag_{(8,3)}-Co_{(5,6)}-Pb_{(5)}$	82,8;
<i>F. excelsior</i>	$-Mo_{(78,7)}-Ni_{(50)}-Cu_{(25)}-Co_{(12,5)}>Zn_{(7,3)}-Ag_{(4,3)}-Pb_{(3)}$	180,8;
<i>R. pseudoacacia</i>	$-Ag_{(60)}-Cu_{(44,4)}-Mo_{(37,5)}-Ni_{(40)}-Zn_{(15)}>Pb_{(8,6)}-Co_{(4,3)}$	209,8.

В приведённых рядах элементы относятся к классам сильного (n) и интенсивного (10n) накопления. По интенсивности ряда выделяется робиния, которая накапливает большие концентрации Ag, Cu, Mo, Ni, характерных максимальным аномалиям в почвах. В отношении Pb накопительная способность робинии также выше, чем у остальных двух видов. Сравнение ассоциаций элементов ясеня и тополя показало, что ясень относится к переходным видам от крайне гумидокатных к ариданидным и применение его в качестве индикатора возможно на территориях с доминирующей ролью Mo, Ni, Cu и Co.

У *R. pseudoacacia* в биогеохимических ассоциациях элементы связаны, кроме Zn. Он накапливается слабо и очень слабо ($K_c=0,9-15$), что, очевидно, обусловлено барьерной генетической функцией самого растения. Несмотря на низкую активность накопления Pb, по основному спектру элементов металлонакопительный потенциал у робинии сбалансирован, что позволяет использовать этот вид для биогеохимической индикации.

Анализ соотношений концентраций элементов в растениях и почве выявил тенденцию уменьшения биологического поглощения при возрастании содержания элемента в почве. Такой зависимости не прослеживаются для Ni. Отсутствие ясно выраженной корреляции между $A_{x(Ni)}$ у растений и содержанием Ni в почвах заставляет предполагать активные биологические механизмы его поглощения из обогащённой среды.

III.3. ТМ в системе “вода – донные отложения – растения”.

Краткая характеристика геохимического потока ТМ в водах р.Раздан. Как показывают данные табл. 4, в водном геохимическом потоке ТМ выделяются две фазы:

- 1) 1999-2002гг. – спад уровня загрязнения, связанный со снижением объёмов промышленных стоков и суммарного привноса ТМ с атмосферными выпадениями и поверхностными водами с прилегающих территорий;
- 2) 2003г. – рост и качественное изменение геохимического потока за счёт увеличения доли Cu, Zn, Pb, что связано с активизацией работы ряда мелких предприятий и увеличением потока автотранспорта.

Табл. 4. Качественные показатели геохимического потока ТМ в водах бассейна р.Раздан в черте г.Еревана, 1999-2003гг.

Годы	Качественный ряд геохимического потока	Интенсивность потока
1999	$Pb_{(760)}-Cr_{(140)}-Ag_{(106)}-Ni_{(71)} > Mo, Cu_{(3)}$	1033
2000	$Pb_{(60)}-Ag_{(48)}-Cr_{(37)} > Ni_{(6,1)}-Mo_{(5)}-Cu_{(2)}$	158,1
2001	$Ag_{(43)}-Cr_{(21)}-Pb_{(7)}-Mo_{(11)} > Cu_{(3,2)}-Ni_{(2)}$	97,2
2002	$Cu_{(17)} > Cr_{(9)}-Zn_{(7)}-Pb_{(4,5)}-Ag_{(4)}-Mo_{(3)}-Ni_{(1,5)}$	41
2003	$Cu_{(69)}-Zn_{(68)}-Pb_{(56)} > Ag_{(6,4)}-Cr_{(5,4)}-Ni_{(2)}$	206,8

Донные отложения. В илах ТМ относятся к 4-м группам накопления: 1) энергичного (100n) – Ag; 2) сильного (10n) – Ag, Ni, Cd и Pb; 3) среднего захвата (n) – Zn, Mn, Cu, Pb; 4) слабого захвата (0,n) – Zn, Mn, Cu, Pb. Наибольшую контрастность проявляет Ag, который относится к двум первым уровням накопления.

Сопоставление обобщённых геохимических рядов ТМ в илах за два года (2000 — $Ag_{(17,0)} > Pb_{(7,8)} \cdot Zn_{(3,5)} \cdot Cu_{(2,8)} \cdot Mn_{(1,3)}$, 2003 — $Ag_{(890)} > Pb_{(2,7)} \cdot Zn_{(1,8)} \cdot Cu_{(1,4)} \cdot Mn_{(1,2)}$) показало, что качественно геохимический ряд не изменился. Доминирующую роль в рядах играет Ag, который на один порядок опережает весь ряд в 2000г., а в 2003г. — на два порядка. Ag эволюционировал из разряда сильного накопления (10п) в разряд энергичного (100п). Процесс роста концентрации Ag экосистеме города и, в частности, в илах имеет сложную природу образования. Донные отложения отражают качественный характер загрязнения территории города и проявляют сродство с геохимическим рядом полей максимального загрязнения почв.

В илах обнаружены высокие концентрации Cd, что обусловлено привносом этого элемента с водным потоком и его осаждением в виде органо-минеральных комплексов. Значимые различия в колебании значений $K_{c(Cd)}$ отмечены для Ереванского водохранилища (19,2) и станции «Аэрации» (33,3), куда стекаются канализационные стоки со всего города (рис. 5). В илах Cd сорбируется органическими и неорганическими лигандами и также легко десорбируется, вновь поступая в воды, поэтому его вторичная мобилизация из загрязнённых илов может представлять серьёзную потенциальную опасность.

Илы, будучи своеобразными концентраторами ТМ, представляют прямую угрозу с позиций вторичного загрязнения поверхностных вод, а также прилегающих почв в случае их выемки и неосторожного использования, например, в качестве удобрений.

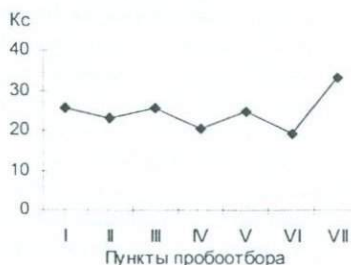


Рис. 5. Коэффициенты концентраций (K_c) кадмия в илах р.Раздан, в черте г.Еревана. Данные 2003г.

Прибрежная растительность. В 2003г. превышения над ПДК концентраций ТМ в воде зафиксированы для Pb, Ag, Cd, рост концентраций которых сопровождается ростом концентраций ТМ во всех органах тростника. Территориально максимальные уровни накопления Ag в илах согласуются с таковыми в тростнике. Для выявления связи ассоциаций элементов в системе «вода — донные отложения — растения» данные по трём средам подвергнуты корреляционному анализу.

Вода — $Ag^{0,8} Cu^{0,7} Mn$ (над чёрточкой связи — r). Остальные элементы (Zn, Pb, Cd) не ассоциированы.

Ил — $Zn^{0,73} Cd$. Выделяется крепко связанная ассоциация Zn-Cd-Cu. Эти элементы генетически связаны. Особый интерес представляет связка Zn-Cd, в которой эти элементы встречаются в природных минералах. Взаимосвязь остальных элементов (Mn, Ag, Pb) в илах недостоверна. Зафиксирована отрицательная связь Mn в илах с Pb в воде ($r = -0,83$).

Тростник (стебли) — $Ag^{0,68} Mn^{-0,58} Cd^{-0,57} Pb$. Менее сильная по сравнению с водой, связь обнаружена между Ag и Mn ($r = 0,68$). Очевидно, при поступлении геохимической ассоциации Ag-Cu-Mn из вод

ды в тростник происходит вытеснение иона меди Cd. Антагонизм Cd с Cu проявляется на уровне $[-0,6]$, с Mn — $[-0,58]$, с Pb — $[-0,57]$. Поступление Ag в тростник только из воды подтверждается связью ($r = 0,7$). Не обнаружено связи его содержания в органах (стебель и

лист) с содержанием в илах. Также не обнаружено зависимости между содержаниями Ag и Pb в илах с их содержанием в воде.

Тростник интенсивно накапливает основной спектр элементов-загрязнителей (Zn, Ag, Pb, Cd) из воды, с одной стороны способствуя повышению их концентраций в илах за счёт поглощения их из водного потока и осаждения с ежегодно отмирающей биомассой, с другой стороны, — он адекватно отражает загрязнение речных вод.

Глава IV. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ И СИСТЕМА ФИТОИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ г. ЕРЕВАН ТМ

IV.1. Эколого-геохимическое картирование загрязнения г.Еревана ТМ.

Для ранжирования городских территорий по степени потенциального риска для здоровья населения первостепенное значение имеют комплексные карты загрязнения, для построения которых использован метод крикинг-интерполяции. Системообразующий базис исследований — пространственно-временная привязка результатов исследований к специализированным картам (М 1 : 10000) с учетом адекватности накопления ТМ в депонирующих средах экосистемы (почвах, растениях).

VI.1.1. Геохимическое картирование загрязнения почвенного покрова г.Еревана ТМ.

Результаты педогеохимической съемки территории г.Еревана (М 1:10000) показали, что почвенный покров интенсивно загрязнён рядом ТМ (Pb, Cu, Ag, Zn, Mo, Cr, Ni и др.). На территории города выделены поля 5 уровней загрязнения.

Поля I уровня — минимальное загрязнение, СПК<8. Эти поля отличаются незначительным уровнем накопления ТМ, концентрации которых близки к фону: $Cr_{(1,4)}-Ni_{(1,1)}-Co_{(1,0)}-Cu_{(0,8)}-Pb_{(0,8)}-Zn_{(0,7)}$ (ряд нормирован по фону). В ряду доминируют Cr и Ni. Эти поля развиты преимущественно на южных, юго-восточных, северных и северо-западных окраинах города. Суммарная площадь $\approx 16 км^2$.

Поля II уровня — слабое загрязнение, СПК=8-16. Эти поля имеют значительно более широкое распространение по сравнению с полями I уровня. Аномалии слагающих их элементов слабоконтрастны, что обусловлено небольшими значениями Кс: $Cr_{(2,4)}-Ni_{(1,7)}-Pb_{(1,6)}-Ag_{(1,5)}-Zn_{(1,4)}-Co_{(1,3)}-Cu_{(1,2)}-Mo_{(1,0)}$. В ряду также доминируют Cr и Ni. Поля приурочены, в основном, к окраинам, местами вклиниваются в центр города. Суммарная площадь $\approx 80 км^2$.

Поля III уровня — среднее загрязнение, СПК=16-32. Поля характеризуются следующим рядом: $Pb_{(5,6)}-Zn_{(3,8)}-Cr_{(3,7)}-Ag_{(2,6)}-Cu_{(1,9)}-Ni_{(1,8)}-Co_{(1,6)}-Mo_{(1,5)}$. Доминирующие элементы — Pb, Zn. Поля прослеживаются от северо-восточных и восточных окраин к центральной и южной частям города. Суммарная площадь $\approx 90 км^2$.

Поля IV уровня — сильное и очень сильное загрязнение, СПК=32-128. Поля отличаются высокой контрастностью слагающих их аномалий отдельных ТМ. Качественный ряд: $Pb_{(19,6)}-Zn_{(9,1)}-Ag_{(8,4)}-Cu_{(4,1)}-Cr_{(3,9)}-Mo_{(2,1)}-Ni_{(2,0)}-Co_{(1,6)}$. Доминируют Pb и Zn. Эти поля локализованы, дискретны и пространственно тяготеют к районам промышленных предприятий и высокой транспортной нагрузки. Наиболее крупные поля расположены в центре города с развитием к северу. Суммарная площадь $\approx 28 км^2$.

Поля V уровня — максимальное загрязнение, СПК>128. Для этих полей характерна резкая пространственная локализация вплоть до точечного характера, а также высокая контраст-

ность и интенсивность слагающих их аномалий отдельных элементов. Качественный ряд $\text{Ag}_{(93,7)}\text{-Pb}_{(44,0)}\text{-Zn}_{(19,0)}\text{-Cu}_{(15,2)}\text{-Cr}_{(12,4)}\text{-Mo}_{(7,8)}\text{-Ni}_{(5,2)}\text{-Co}_{(1,7)}$. Доминирующие элементы — Ag и Pb. Всего таких участков на территории города насчитывается 14; вместе они охватывают площадь $>1\text{ км}^2$. В основном они приурочены к территориям, прилегающим к промышленным предприятиям Зейтуна и Норагавита.

На территории г.Еревана сформировалась техногенная геохимическая ассоциация ТМ, по качественным и количественным показателям отличающаяся от природного геохимического фона. Обобщенный геохимический ряд качественного состава загрязнения ТМ почв территории города имеет следующий вид: $\text{Pb}_{(6,4)}\text{-Ag}_{(4,4)}\text{-Zn}_{(3,7)}\text{-Cr}_{(3,2)}\text{-Cu}_{(2,1)}\text{-Ni}_{(1,8)}\text{-Co}$, $\text{Mo}_{(1,4)}$. Сопоставляя его с природным рядом — $\text{Pb}_{(2,5)}\text{-Cu}_{(1,3)}\text{-Zn}_{(1,2)}\text{-Mo}_{(1,1)} > \text{Cr}_{(0,8)}\text{-Ag}_{(0,7)}\text{-Ni}_{(0,6)}\text{-Co}_{(0,5)}$ (нормированным по литосферным кларкам), можно заключить, что процесс загрязнения почв г.Еревана имеет двойственный характер: с одной стороны, происходит нарастание роли халькофильных элементов, имеющих завышенные (по сравнению с литосферным кларком) концентрации в условиях природного геохимического фона. С другой стороны, параллельно этому процессу отмечается интенсивный техногенный привнос как халькофильных, так и сидерофильных элементов, несвойственных для данного геохимического ландшафта.

Доминирование Pb обусловлено применением в течение многих лет этилированного бензина, выбросами типографий и ряда активно работающих в прошлом предприятий (КАНАЗ, Полиграфкомбинат, типографии); доминирование Ag — развитием сети мелких гальванических и ювелирных цехов и частных фотолaborаторий при полной ликвидации госслужбы по сбору и утилизации серебросодержащих отходов. Остальные элементы входят в число характерных сопутствующих загрязнителей предприятий электротехнического, машиностроительного, химического профилей. В отношении Cu следует отметить, что помимо заводского загрязнения, имеет место загрязнение, связанное с работой городского транспорта (контактные электролинии, износ шин и др.) и сельским хозяйством (использование CuSO_4 и др.).

Несмотря на сокращение объемов поступления ТМ с атмосферными осадками за последние годы, проблема загрязнения почв актуальна, поскольку львиная доля ТМ находится в органо-минеральных комплексах, и при активизации процессов выщелачивания и мобилизации существует реальная угроза здоровью населения. Поэтому на загрязненных территориях необходима разработка профилактических мероприятий для максимального нивелирования воздействия ТМ на организм человека и животных. К числу таковых относятся: 1) пылеподавление путём функционального озеленения и архитектурно-планировочных решений, 2) мелиоративные мероприятия по связыванию подвижных форм ТМ на участках культивации сельхозпродукции и введение функционального сельхозассортимента с барьерным металлопоглощительным потенциалом.

IV.12. Биогеохимическое картирование загрязнения территории г.Еревана ТМ.

VI.1.2.1. *Принципы биогеохимического картирования.* Кратко изложены основные положения биогеохимического районирования, природных и техногенных биогеохимических провинций, разработанные В.И. Вернадским, А.П. Виноградовым, В.В. Ковальским, Ю.Е. Саеком и др.

VI.1.2.2. Комплексная индикационная карта-схема загрязнения территории г.Еревана ТМ.

Нами решалась задача по разработке алгоритма комплексного биогеохимического индикационного картирования загрязнения территории г.Еревана. Суть алгоритма заключается в определении в результате статистической обработки материалов взаимосвязи между векто-

рами-индикаторами (концентрации ТМ). Для этого проведён кластерный анализ матрицы параметров — MnN, где концентрации ТМ унифицированы в кластеры. При решении первого шага задачи для каждой пары кластеров рассчитан корреляционный коэффициент подобия (r). Коэффициент корреляции имеет геометрический смысл, поэтому для исключения отрицательных значений r при построении дендрограмм использована формула расстояния Чебышева (S): $S(X, Y) = \text{Maximum } |X_i - Y_i|$. Эта величина рассмотрена как мера расстояния между векторами и как мера сходства между объектами. При решении второго шага кластеры разделены по степени сходства и построены классификационные дендрограммы. В рамках каждой группы кластеров объединены схожие по характеру накопления ТМ исследуемые образцы депонирующего субстрата и составлена комплексная индикационная карта-схема загрязнения территории (по адекватным металлонакопительным характеристикам *R. pseudoacacia*).

I группа: слабоинтенсивный биогеохимический ряд — $\text{Cu}_{(2,8)}\text{-Ag}_{(1,1)}\text{-Pb}_{(0,6)}\text{-Zn}_{(0,5)}\text{-Ni}_{(0,3)}\text{-Co}_{(0,2)}$ (в скобках приведены средние значения Кс элементов, нормированные по фону); интенсивность ряда — 5,82. Доминирующая роль принадлежит Cu и Ag. Точки, объединённые в эту группу, имеют мозаичную пространственную картину распределения по территории без определённой закономерности. Первая группа связана со второй на уровне $r=0,453$.

II группа: биогеохимический ряд — $\text{Cu}_{(5,7)}\text{-Ag}_{(1,8)}\text{-Mo}_{(1,2)}\text{-Pb}_{(0,9)}\text{-Zn}_{(0,8)}\text{-Ni}_{(0,6)}\text{-Co}_{(0,4)}$; интенсивность ряда — 11,49. В определённой степени вторая группа схожа с первой, но к числу ведущих элементов добавляется Mo. Пространственное расположение этих точек аналогично предыдущей группе (разрознены и локализованы в центрах техногенных нагрузок).

Остальные 3 группы кластеров отдалены от предыдущих двух на уровне сходства $r=0,336$. Они пространственно тесно связаны, имеют определённую закономерность распределения, однако не наблюдается тесной зависимости между группами как у предыдущих двух, и по биогеохимическим рядам элементов они резко различаются.

III группа: биогеохимический ряд — $\text{Cu}_{(10,6)}\text{-Ag}_{(4,1)}\text{-Mo}_{(3)}\text{-Pb}_{(1,8)}\text{-Ni}_{(1,3)}\text{-Co}_{(0,9)}\text{-Zn}_{(0,8)}$; интенсивность ряда — 22,49. В отличие от предыдущих полей, в биогеохимическом ряду этих полей Cu проявляет сильную интенсивность накопления, а к числу среднеинтенсивных относятся Ag, Mo, Pb, Ni (табл. 5). Уровень связи с последующими группами незначительный: с четвёртой — 0,179; с пятой на уровне 0,168.

Табл. 5. Степени, интенсивность накопления и вклад ТМ в фолиуме *R. pseudoacacia* по биогеохимическим полям на территории г.Еревана.

Поля	Степени накопления и суммарный вклад элементов (%)			Интенсивность
	сильное (10n)	среднее (n)	слабое (0,n)	
I		Cu, Ag — 66,5 %	Pb, Zn, Ni, Mo, Co — 33,5 %	5,82
II		Cu, Ag, Mo — 76,2 %	Pb, Zn, Ni, Co — 23,8 %	11,49
III	Cu — 47 %	Ag, Mo, Pb, Ni — 45,9 %	Co, Zn — 7,1 %	22,49
IV	Cu — 45,3 %	Ag, Mo, Pb, Ni, Zn, Co — 54,7 %		41,68
V	Ag, Mo, Cu — 92 %	Ni, Pb, Co — 7 %	Zn — 1 %	75,37

IV группа: биогеохимический ряд — $\text{Cu}_{(18,9)}\text{-Ag}_{(8,1)}\text{-Mo}_{(5,5)}\text{-Pb}_{(3,6)}\text{-Ni}_{(2,2)}\text{-Zn}_{(1,8)}\text{-Co}_{(1,6)}$; интенсивность ряда — 41,68. В ряду отсутствуют элементы слабого захвата (0,n).

V группа: биогеохимический ряд — $\text{Ag}_{(32,9)}\text{-Mo}_{(22,5)}\text{-Cu}_{(13,9)}\text{-Ni}_{(2,8)}\text{-Pb}_{(1,4)}\text{-Co}_{(1,1)}\text{-Zn}_{(0,7)}$; интенсивность ряда — 75,37. В ряду доминирующее место занимают Ag, Mo, Cu. Пространственно поле локализовано в центре города и приурочено к территориям сильного загрязнения.

По средним оценкам, в целом, для территории г.Еревана характерен следующий биогеохимический ряд: $\text{Cu}_{(12,2)}\text{-Ag}_{(5,2)}\text{-Mo}_{(3,3)}\text{-Pb}_{(1,9)}\text{-Ni}_{(1,3)}\text{-Co}_{(0,9)}\text{-Zn}_{(0,9)}$, интенсивность которого 24,7.

Вклад ТМ в интенсивность биогеохимических полей находится в широком диапазоне: Cu – 18,4-49,6 %, Ag – 16-47,7 %, Mo – 5,3-29,8 %, Pb – 1,9-9,7 %, Zn – 1,0-8,6 %, Ni – 3,7-5,9 %, Co – 1,4-4,1 %. Все ТМ имеют переходные степени накопления. Наибольшую степень (10n-п) и вклад имеют Cu (на III-V полях), Ag и Mo (на полях V уровня с максимальной интенсивностью 75,37). В целом, по городу Ag относится к среднему уровню накопления (п).

IV.2. Разработка системы биогеохимической фитоиндикации загрязнения городской среды ТМ.

Для оценки состояния окружающей среды урбанизированных территорий нами разработан метод комплексной биогеохимической фитоиндикации на разных системных уровнях, схема организации и основные этапы которой представлены на *рис. 6*.



Рис. 6. Логическая схема фитоиндикационных исследований.

Исследования базируются на двух основных принципах: 1) сопряженный анализ накопления и перераспределения ТМ в экологических подсистемах города “геосреда – растение”, 2) выявление адекватных биогеохимических индикаторов и их использование в картировании загрязнения территорий. Система состоит из ряда последовательных этапов с использованием разных методов, уточняемых в зависимости от специфики изучаемого района и объектов. Сложнейшим элементом организации комплексных биогеохимических исследований является обоснование оптимальной численности постоянных площадок наблюдения, их размещения на плане города и методов контроля. Нами был определен перечень контрольных площадок на основе комплекса критериев (ландшафтно-геохимические, экологические и др.) и сети точек многолетних наблюдений за уровнем загрязнения геосфер ТМ. При биогеохимической оценке загрязнения территории использованы доминантные виды. Решение задачи адекватного выбора численности площадок возможно при применении статистических методов с учётом комплекса результатов проблемно-ориентированных исследований.

На первом этапе создания системы решалась задача получения репрезентативной информации о биогеохимических параметрах растений с применением наиболее доступных методов и учётом доминирующих факторов негативного антропогенного воздействия на

растения, в первую очередь, загрязнения атмосферного воздуха, почв и вод ТМ. Весь комплекс исследований реализован с детальным изучением и описанием территорий, с применением единого комплекса методов и точной картографической основы.

Следующей задачей явилось создание компьютерной БД содержания ТМ в сопряжённых гео- и биосредах. БД необходима как для промежуточных этапов исследований, так и для заключительного информационного блока системы, включающего экстраполяцию состояния компонентов экосистем на крупные однородные географические единицы и разработку серии карт-схем. С целью оптимальной организации информации в ЦЭНИ НАН РА разработана и реализована экогеохимическая компьютерная БД ТМ в почвах и растениях.

Система биогеохимической фитоиндикации загрязнения городской среды имеет ряд преимуществ:

- возможность оценки состояния экосистемы как результат реакции на природные и антропогенные воздействия;
- возможность одновременного проведения исследований на изучаемой территории с использованием нескольких тривиальных и космополитных видов;
- универсальность и высокоинформативность, поскольку позволяет одновременно обрабатывать широкий спектр проб по заданным параметрам и строить комплексные карты-схемы загрязнения территории, а также выявлять ассоциации ТМ – загрязнителей;
- даёт возможность проследить динамику и выявить закономерности пространственного распределения и депонирования ТМ в отдельных геосредах по адекватным биогеохимическим параметрам растений.

ВЫВОДЫ

Анализ результатов исследования загрязнения различных сопряжённых сфер экосистемы на территории г.Еревана позволяет сделать ряд выводов:

1. За период 1989-1995гг. в техногенном геохимическом потоке в атмосфере установлена тенденция к снижению уровня загрязнения и изменение качественного ряда ТМ (Ag-Pb-Cu, Ni-Mo-Zn-Co, Cr), с доминирующей ролью халькофильных элементов (Pb, Ag).
2. Показано, что у лишайников в условиях г.Еревана по сравнению с фоном резко возрастает активность накопления ТМ. Исследования показали, что биогеохимический ряд накопления ТМ (Mo-Ag-Pb-Cu-Cr-Ni-Zn-Co) в литофильном лишайнике *Parmelia saxatilis* интегративно отражает динамику и тенденции геохимического потока ТМ в атмосфере.
3. Показано, что ведущую роль в формировании техногенного загрязнения играют халькофильные элементы, и, в первую очередь, Pb и Ag. Установлено, что доля подвижных форм от их валового содержания у ряда доминантных халькофильных элементов (Pb, Zn, Cu) при повышении уровня загрязнения в гумусовом горизонте возрастает в логарифмической прогрессии, а у сидерофильного элемента – Ni – в экспоненциальной.
4. По СПК ТМ составлена комплексная карта-схема загрязнения почвенного покрова города (М 1 : 10000), включённая в новый генплан г.Еревана (2003г.).
5. Показано, что металлопоглощительный потенциал растений зависит от уровня загрязнения питающего субстрата – почвы. Установлено, что ариданитный вид *Robinia pseudoacacia* является адекватным биогеохимическим индикатором загрязнения территории г.Еревана доминирующими элементами-загрязнителями.
6. Исследования загрязнения ТМ аквасистемы "вода – донные отложения – растения" р.Раздан (в черте г.Еревана) показали: 1) что за период 1999-2002гг. в геохимическом вод-

- ном потоке отмечалась тенденция снижения уровня загрязнения по ряду элементов, за 2003г. — рост за счёт увеличения доли Cu, Zn, Pb; 2) качественную стабильность геохимического ряда ТМ в илах и его сродство с таковым для полей интенсивного загрязнения почв города; 3) что тростник интенсивно накапливает основной спектр элементов-загрязнителей (Zn, Ag, Cd) из воды.
7. На базе кластерного анализа и адекватного металлопоглощительного потенциала *Robinia pseudoacacia* разработан метод комплексного биогеохимического картирования и составлена карта-схема загрязнения территории города (М 1 : 10000).
 8. Разработана система фитоиндикации загрязнения городской среды ТМ.

Используя индикационную способность растений адекватно накапливать ТМ за длительный период времени становится возможным:

- проведение экспрессной экоэкспертизы и получение комплексной экологической картины загрязнения территорий в кратчайшие сроки при сокращении затрат на инструментальные измерения состояния загрязнения отдельных геосред (атмо-, педо- и гидросфера);
- разработка комплекса работ по отбору определённых видов для оценки и прогноза процесса загрязнения техногенных и урбанизированных ландшафтов;
- определение природоохранных мероприятий с использованием функционального озеленения территории.

Сопряжённый анализ поведения ТМ во взаимосвязанных сферах городской экосистемы даёт возможность ранней диагностики загрязнения как самих сфер, так и экосистемы в целом. Исследования поглощительного потенциала растений позволяют проводить подбор ассортимента толерантных видов для функционального озеленения территорий с подбором устойчивого ассортимента растений.

Разработанная система биогеохимической фитоиндикации может быть использована в качестве альтернативной технологии мониторинга загрязнения городской среды ТМ.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В РАБОТАХ:

- [1] АРЕВШАТЯН С.Г. Лишайники как биоиндикаторы техногенного загрязнения г.Еревана. — Тез. докл. республ. науч. конф. "Загрязнение окр. среды ТМ". Ереван: Изд-во ЦЭНИ НАН РА, 1996, с. 62-63.
- [2] САГАТЕЛЯН А.К., ОГАНЕСЯН А.А., МУРАДЯН А.А., АРЕВШАТЯН С.Г. Мониторинг загрязнения г.Еревана свинцом и стронцием с помощью древесных растений. — Сб. науч. тр. ЦЭНИ НАН РА "Вопросы экологии и охраны окр. среды", т. 2, деп. в АрмНИИНТИ 01.05.96, N80-Ар96. Ереван, с. 17-22.
- [3] АРЕВШАТЯН С.Г. Экогеохимия растений в условиях техногенеза. — Тез. межд. симпоз. "Геохимия ландшафтов, палеоэкология человека и этногенез". Улан-Уде: Бурятский гос. ун-т, Геол. ин-т СО РАН, 1999, с. 280-281.
- [4] АРЕВШАТЯН С.Г. Система фитоиндикации и картирования загрязнения городского ландшафта ТМ. — Тез. II межд. совещ. "Геохимия биосферы". Новороссийск, 1999, с. 207-208.
- [5] AREVSHATYAN S.H., On the problem of using the lichens in man-made environmental pollution biomonitoring. — Flora, vegetation & vegetables resources of Armenia. Yerevan: publ. by "Banar", 1999, N_o12, pp. 78-79.
- [6] АРЕВШАТЯН С., СОГОМОНЯН А. Методология биогеохимической фитоиндикации и техногенной дендрозкологии. — Сб. статей молодых науч. сотр. Естеств. науки, вып. 1. Ереван: Изд-

во "Гитутюн" НАН РА, 1999, с. 45-52.

- [7] АРЕВШАТЯН С.Г. Картирование техногенного загрязнения урбанизированных территорий методом фитоиндикации. — Сб. тез. докл. IV Межд. экол. конф. студентов и молод. учёных "Роль науки и образования на пороге третьего тысячелетия". М.: МГУ, 16-18.04.2000, т. 1, с. 114-116.
- [8] АРЕВШАТЯН С.Н., Using vegetation in indication of environmental pollution by heavy metals. — Proc. of Intern. Seminar "Conversion Potential of Armenia and ISTC Programs", part II. Yerevan: publ. by NAS RA, 2000, pp. 133-136; Abstract — p. 192.
- [9] АРЕВШАТЯН С.Г., Оганесян А.А., Мурадян А.А., Навасардян И.А., Аветисян М.Г. Биогеохимические особенности ясеня обыкновенного в условиях загрязнения городской среды ТМ. — Уч. записки ЕГУ, №1 (192). Ереван: Изд-во ЕГУ, 2000, с. 114-119.
- [10] АРЕВШАТЯН С.Г. Краткий исторический очерк изучения лишенофлоры Армении. — Мат. II - республ. молодёж. науч. конф. "XXI век: экологическая наука в Армении". Ереван: Изд-во "Гитутюн" НАН РА, 2001, с. 185-189.
- [11] АРЕВШАТЯН С., Biogeochemistry of lichen in conditions of urban pollution. — Coll. of articles of the young researchers. Yerevan: publ. by "Gitutjun" NAS RA, 2001, №1(2), pp. 25-28.
- [12] SAGHATELYAN A.K., АРЕВШАТЯН С.Н., Using the plants in studying technogenic biogeochemical provinces. — Abstr. of XI Intern. Sympos. of bioindicators "Problems of bioindication and biomonitoring". Syktyvkar, 2001, p. 349.
- [13] АРЕВШАТЯН С.Г. Использование биогеохимических параметров деревьев в оценке загрязнения городских территорий. — Тез. межд. школы "Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окр. среды". Новороссийск, 2003, с. 48.
- [14] АРЕВШАТЯН С.Г. О системе фитоиндикации техногенных территорий. — Сб. докл. VII Межд. экол. конф. студентов и молод. учёных "Экологическая безопасность как ключевой фактор устойчивого развития". М.: МГУ, 9-10.04.2003, т. 1. — Смоленск, Ойкумена, 2003, с. 61-63.
- [15] АРЕВШАТЯН С.Г., Саакян Л.В. Особенности загрязнения почвенного покрова г.Еревана ТМ. — Тез. межд. школы "Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды". Новороссийск, 15-20.09.2003, с. 96-97.
- [16] SAGHATELYAN A.K., АРЕВШАТЯН С.Н., СААКЯН Л.В., Ecological-geochemical assessment of heavy metal pollution of the territory of Yerevan. — Electronic J. of Natural Sci., ISSN 1728-791X; №1, 2003: 36-41. AN12479492; <http://search.epnet.com/direct.asp?an=12479492&db=apn>
- [17] SAGHATELYAN A.K., АРЕВШАТЯН С.Н., НАЛБАНДЯН М.А., Heavy metals in system "water-silt-plant" (within the limits of Yerevan). — Electronic J. of Natural Sci., ISSN1728-791X; №1(2), 2004: 20-26. AN14243818; <http://search.epnet.com/direct.asp?an=14243818&db=apn>
- [18] ԱՐԵՎՇԱՏՅԱՆ Ս., Բաղաբնեթի աղտոտման ֆիտոինդիկացիայի համազարգ. — «Գիտություն և տեխնիկա» ամսագիր, N5(489)-ԱՍՅԻՍ, 2004, էջ 20-23:

Երևան քաղաքի էկոհամակարգ ~~են~~ ^{այսինքն} բախանցում ծանր մետաղների տեխնածին հոսքեր, որոնց հետևանքով տարածքը՝ որպես տեխնածին քաղաքակենտրոնացված մարզ, համեմատելի է բնական կենսատերկրաքիմիական ծայրահեղ իրավիճակների հետ: Այս պարագայում խիստ անհրաժեշտ է դառնում Երևան ք. էկոհամակարգի առանձին բաղադրամասերի ծանր մետաղներով աղտոտման գնահատումը: Հայաստանում շրջակա միջավայրի ծանր մետաղներով աղտոտման գնահատման համար կիրառվել են երկրաքիմիական մեթոդները, մինչդեռ կենսատերկրաքիմիական քարտեզագրման և ֆիտոինդիկացիայի մեթոդները, որոնք հանդիսանում են առավել արդյունավետ ինտեգրացնող եղանակ, չեն կիրառվել, ինչով և պայմանավորված է հետազոտությունների արդիականությունը:

Աշխատանքի նպատակը Երևան ք. էկոհամակարգի ծանր մետաղներով աղտոտման կենսատերկրաքիմիական գնահատումն է և ֆիտոինդիկացիայի համակարգի մշակումը: Այդ նպատակով կատարվել են.

- ա) քաղաքի էկոհամակարգի հիմնական բաղադրամասերի (բույսեր, հողային ծածկույթ, ջուր, հատակային նստվածքներ, մթնոլորտային տեղումներ) ծանր մետաղներով աղտոտման հետազոտություններ,
- բ) բույսերի մետաղակլանիչ ներուժի հետազոտություններ՝ միջավայրի ծանր մետաղներով աղտոտման ֆիտոինդիկացիայի կենսատերկրաքիմիական համարժեք չափանիշները որոշելու համար,
- գ) համալիր էկոլոգատերկրաքիմիական քարտեզագրում և քաղաքի տարածքի ծանր մետաղներով աղտոտման կենսատերկրաքիմիական ֆիտոինդիկացիայի համակարգի մշակում:

Առաջին անգամ.

- Հայաստանում, մասնավորապես Երևանում, մթնոլորտի ծանր մետաղներով աղտոտման գնահատման համար փորձարկվել է լիխենոինդիկացիայի մեթոդը,
- տրվել է Երևան քաղաքի էկոհամակարգի տարբեր երկրօլորտների ծանր մետաղներով աղտոտման կենսատերկրաքիմիական համալիր գնահատականը,
- համալիր ուսումնասիրվել է բույսերի (քարաքոսեր, ծառատեսակներ, եղեգն) մետաղակլանիչ ներուժը և որոշվել են նրանց կենսատերկրաքիմիական ինդիկացիոն ցուցանիշները՝ քաղաքի երկրօլորտների ծանր մետաղներով աղտոտման պայմաններում,
- կատարելագործվել է ինդիկացիոն քարտեզագրման համակարգը հողային ծածկույթի և կենսատերկրաքիմիական ֆիտոինդիկացիայի տվյալներով, մշակվել են Երևան քաղաքի տարածքի ծանր մետաղներով աղտոտման համալիր քարտեզ-սխեմաներ (Մ 1 : 10000):

Սահմանվել է, որ կենսատերկրաքիմիական լիխենոինդիկացիայի մեթոդով Երևան ք. օդային ավազանի աղտոտման գնահատման համար նպատակահարմար է օգտագործել լիթֆիլ քարաքոս՝ *Parmelia saxatilis* -ը: Ցույց է տրվել, որ Երևան քաղաքի տարածքի հողային ծածկույթի աղտոտման մեջ գերակշռում են խալկոֆիլ տարրերը (Pb, Ag, Zn, Cu), իսկ սիդերոֆիլ տարրերի (Mo, Ni, Cr, Co) դերն ուժգին կերպով արտահայտվում է միայն աղտոտման լոկալ կարգաշեղումներում: Հայտնաբերվել է, որ առավել աղտոտման պայմաններում տարրերի շարժում ձևերի բաժինն ավելանում է նրանց անշարժ ձևերի աճին զուգընթաց: Հաստատվել է, որ քաղաքի աղտոտման պայմաններում համարժեք մետաղակլանիչ ներուժով օժտված է արդիանյիտ ծառատեսակ *Robinia pseudoacacia* -ն:

Հրազդան գետի «ջուր-հատակային նստվածք-բույս» համակարգի ծանր մետաղներով աղտոտման մոնիթորինգը ցույց է տվել՝

- ա) 1999-2002թթ. ջրային հոսքի աղտոտման նվազում՝ երկրաքիմիական հոսքի ուժգնությունն իջել է 1033-ից մինչև 41, իսկ 2003թ.՝ բարձրացում (հոսքի ուժգնությունը կազմել է 206,8)՝ Cu, Zn, Pb տարրերի խտությունների ավելացման հաշվին,
- բ) 2000-2003թթ. հատակային նստվածքների երկրաքիմիական շարքում դիտվել է քանակական աճ՝ ի հաշիվ Ag-ի: Շարքը (Ag-Pb-Zn-Cu) համանման է քաղաքի հողերի առավել աղտոտված դաշտերին: 2003թ. տիղմերում հայտնաբերվել են Cd-ի մեծ քանակություններ (խտության գործակիցը կազմել է 33,3),
- գ) կորելացիոն վերլուծությունը ցույց է տվել, որ եղեգը կարող է հանդիսանալ ջրոլորտի Ag, Zn, Pb, Cd աղտոտման ինդիկատոր:

Հեղինակի կողմից առաջարկված համալիր ֆիտոինդիկացիոն քարտեզագրության մեթոդի մասին հրապարակված է «Hi-Tech» տեղեկագրում: Ա.Կ.Սաղաթեյանի և Լ.Վ.Սահակյանի հետ համահեղինակությամբ մշակվել է ծանր մետաղներով երևան ք. հողային ծածկույթի աղտոտման համալիր քարտեզ-սխեմա (Մ1:10000), որն ներդրվել է Երևանի ք. նոր Գլխավոր հատակագծի հայեցակարգի մեջ (2003թ.):

Հիմնավորված դրույթները և եզրակացությունները կարող են օգտագործվել.

- ա) ծանր մետաղներով տարածքների աղտոտման էկոլոգիական փորձաքննության անցկացման համար,
- բ) տեխնածին քաղաքակենտրոնացված լանդշաֆտներում էկոլոգիական մոնիթորինգի համակարգի մշակման և բնապահպանական միջոցառումներ անցկացնելու համար,
- գ) տեխնածին տարածքների ֆիտոմեխիորացիայի բնագավառում՝ բարձր մետաղականիչներուժ ունեցող ծառատեսակների օգտագործմամբ:



1952