

Ю.Г. ТЮТЮННИК¹, О.Б. БЛЮМ¹,
ДЖ. ДАУНИС-И-ЭСТАДЕЛЬЯ², ДЖ.-А. МАРТИН-ФЕРНАНДЕС²

¹ Национальный ботанический сад им. Н.Н. Гришко НАН Украины
Украина, 01014 г. Киев, ул. Тимирязевская, 1

² Университет Жироны, кампус Монтиливи, Р4, Е-17071 Жирона, Испания

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ДЕНДРОПАРК «ТРОСТЯНЕЦ» НАН УКРАИНЫ МЕТОДОМ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ

*Методом биогеохимической индикации проведена оценка антропогенного геохимического воздействия на особо охраняемую территорию, важный памятник природы, культуры и истории Украины — дендропарк «Тростянец» НАН Украины. В качестве биоиндикаторов содержания химических элементов в атмосфере использованы эпифитные лишайники *Parmelia sulcata* Tayl., *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и *Evernia prunastri* (L.) Ach. Для биогеохимической индикации состояния почв и грунтовых вод использованы листья клена остролистного (*Acer platanoides* L.). В указанных растениях-индикаторах определено методом интродуктивно-связанной плазмы — оптико-эмиссионной спектрометрии содержание 20 микро- и макроэлементов (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn, Ba, Ca, Co, K, Mg, Mn, Na, S, Sr, Ti, Se). Данные о содержании химических элементов обработаны и интерпретированы с помощью геостатистического метода «композиционный биplot» и метода треугольных диаграмм. Изучены атмогеохимические и литогидрогеохимические поля, установлены причины формирования антропогенных геохимических нагрузок, показано их возможное влияние на уникальные садово-парковые ландшафты дендропарка.*

Ключевые слова: дендропарк «Тростянец», биогеохимическая индикация, атмосферное загрязнение, загрязнение почв, геостатистический анализ.

Особо охраняемые территории, в частности ботанические сады и дендропарки, в последние годы стали объектами экологических исследований с целью обеспечения их сохранности в условиях сильного антропогенного воздействия. Однако такой контроль необходим также тогда, когда сильный антропогенный «пресс» отсутствует. Во-первых, на территориях старого хозяйственного освоения о природном состоянии экосистем можно говорить только условно. Во-вторых, постепенное накопление негативных биогеохимических трансформаций в садово-парковых ландшафтах на относительно чистых территориях со временем может перейти на качественно новый уровень, и им может угрожать деградация. Одним из охраняемых ландшафтных объектов является дендропарк «Тростянец» НАН Украины, в котором нами было прове-

дено индикационно-биогеохимическое изучение антропогенной нагрузки на атмосферный воздух и почво-грунты.

Территория дендропарка (площадь — 204,7 га) непосредственно примыкает к с. Тростянец. В селе имеется довольно крупное племенное хозяйство, являющееся источником загрязнения стоками животноводства грунтовых и подземных вод в непосредственной близости от дендропарка. Локальными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются межрайонная автомобильная дорога (примыкает вплотную к северо-западной границе парка), отопительные системы сельских домов (газ, дрова, уголь), а также небольшая котельная. Дендропарк окружен полями, поэтому возможно влияние пылеподъема с пахотных угодий и поступление в атмосферу токсических элементов, содержащихся в химических удобрениях. Промышленных источников воздействия на окружающую среду вблизи парка нет, хотя его территория может

© Ю.Г. ТЮТЮННИК, О.Б. БЛЮМ,
ДЖ. ДАУНИС-И-ЭСТАДЕЛЬЯ,
ДЖ.-А. МАРТИН-ФЕРНАНДЕС, 2015

испытывать более или менее сильное влияние загрязненных воздушных масс, формирующихся в Черниговском, Сумском, Шосткинском, Прилукском и других промышленных узлах северо-востока Украины.

Материал и методы

Для изучения выпадения химических элементов из атмосферного воздуха и загрязнения почв на территории дендропарка «Тростянец» применяли метод биогеохимической индикации. В качестве биоиндикаторов содержания химических элементов в атмосфере были использованы эпифитные лишайники *Parmelia sulcata* Tayl., *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и *Evernia prunastri* (L.) Ach. Для биогеохимической индикации состояния почв и грунтовых вод использовали листья клена остролистного (*Acer platanoides* L.). Выбор растений-индикаторов определялся главным методическим условием биогеохимической индикации — повсеместной распространенностью биообъекта на исследуемой территории.

Лишайники были отобраны в 37 пунктах, а листья клена — в 35. В 29 пунктах точки отбора лишайников и листьев клена совпали. Образцы растений-индикаторов отобрали в июле 2011 г.

Доаналитическая обработка образцов растений-биоиндикаторов, такая как сушка, измельчение, мокрое озоление (разложение при помощи азотной кислоты в микроволновой печи MWS-2, Berghoff, Германия), проведена по стандартным методикам. Измельчение образцов во время подготовки проб для предупреждения возможного их загрязнения тяжелыми металлами осуществляли при помощи керамических ножниц. Анализ образцов лишайников и листьев на содержание 20 химических элементов (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn, Ba, Ca, Co, K, Mg, Mn, Na, S, Sr, Ti, Se) проводили на спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICP 6300 DUO (ThermoFisher, США) в Центре коллективного пользования приборами при Национальном ботаническом саду им. Н.Н. Гришко НАН Украины. Для учета видовой специфики в поглощении и

накоплении химических элементов лишайниками все измеренные концентрации нормировали на один вид — *Parmelia sulcata* и выражали как приведенные концентрации, или так называемый биогеохимический лишайноиндикационный показатель — БГХЛ-индекс [2].

Полученные данные обрабатывали с помощью геостатистического метода «композиционный биplot», который был нами адаптирован для целей изучения состояния загрязнения окружающей среды [9, 12].

Графически модель «композиционный биplot» представляет собой проекцию на плоскость многомерного пространства геохимических факторов и причин, описываемую: 1) дисперсией логарифмов отношений концентраций $\lg [A]/\lg [B]$ — показывается углами между лучами химических элементов «А» и «В»; 2) средней вариабельностью дисперсий по каждому из введенных в модель химических элементов — показывается длиной соответствующего луча (рис. 1). Каждый химический элемент принимается одной единицей размерности гиперпространства геохимических факторов и причин и маркирует одну, две, реже — три причины, обуславливающие его содержание в объектах окружающей среды (в нашем случае — в лишайниках и листьях клена). Анализ модели «биplot» — это по существу, расшифровка соответствующих причин (здесь биplot напоминает факторный анализ). Концепция модели основана, во-первых, на глубоком знании феноменологии загрязнения окружающей среды и поведения химических элементов в природных средах и биообъектах; во-вторых, на количественной оценке степени ассоциированности химических элементов в модели (близость лучей, соответствующих химическим элементам); в-третьих, на количественной оценке относительной силы проявления каждого фактора, выражаемой длиной луча¹. Метод позволяет от-

¹ Соответствующие числовые параметры — величины углов между лучами и величины длин лучей — можно также представить в виде таблицы-матрицы [10], но таблица менее наглядна, чем график.

ветить на вопрос: какая причина (причины) с наибольшей вероятностью обуславливают объединение химических элементов в ту или иную ассоциацию (включая ассоциации, состоящие из одного химического элемента). Наиболее правдоподобный ответ на этот вопрос и будет расшифровкой графика модели.

Важным свойством модели «композиционный биplot» является то, что комбинации геохимических причин зависят от набора используемых в модели параметров — химических элементов. Один и тот же химический элемент при наличии в группе m химических элементов может указывать на причину x , а при наличии n элементов — на причину y . Но это не обязательное условие. При сокращении числа химических элементов в группе до трех модель «композиционный биplot» может быть трансформирована в модель трехмерной диаграммы, которая представляет собой трехмерное пространство геохимических факторов и причин. Такие диаграммы хорошо зарекомендовали себя в геохимии. Подчеркнем, что то, какая причина маркируется химическим элементом, зависит от того, какими остальными двумя химическими элементами он «окружен». Диаграммы отличаются от биplotов тем, что для расшифровки причин в «координатах» трех химических элементов внутри графика необходимо нанести точки отбора проб.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены результаты моделирования данных методом «композиционный биplot». Интерпретируя модели, мы опирались на: 1) знания реальной эколого-геохимической ситуации, полученные во время полевых работ и анализа фондовых материалов (источники загрязнения и их расположение в пространстве, объем выбросов, пути миграции продуктов техногенеза в природных средах); 2) литературные данные о характере и особенностях поведения в окружающей среде, а также в организмах лишайников и деревьев (поглощение, аккумуляция, иммобилизация) изученных химических элементов. Феноменология загряз-

нения окружающей среды, а также поглощения из нее химических элементов растительными организмами наиболее полно освещена в геохимической литературе [3—5].

Из данных таблицы, в которой обобщена интерпретация моделей биplot, следует, что изъятие из гиперпространства геохимических факторов химических элементов, маркирующих эти факторы, позволяет идентифицировать новые геохимические причины, более тонкие, не заметные в гиперпространстве больших размерностей (то есть формируемом большим количеством определяемых химических элементов). Химические элементы, обнаруженные в лишайниках (см. рис. 1, фигура «1б»), в дополнение к гиперпространству «1а», указывают на поступление на территорию дендропарка от локальных источников атмосферного загрязнения крупнодисперсных пылевидных аэрозолей техногенного происхождения ($Cr_{(3)}$ - $Mn_{(3)}$ - $V_{(4)}$), а также на влияние кислотных дождей ($S_{(4)}$). И тот, и другой фактор в относительно чистом районе исследований проявляются слабо. Химические элементы, определенные в листьях клена (см. рис. 1), в дополнение к причинам, выявленным для гиперпространств «1а», «1б» и «1в», указывают на весь комплекс атмогеохимического влияния продуктов техногенеза ($Fe_{(3)}$ — $Zn_{(4)}$ — $Cr_{(4)}$ — $Pb_{(4)}$) на листву и, возможно, на влияние стоков племенного завода на грунтовые и подземные воды ($Ni_{(3)}$), миграция которых на территорию парка вследствие гидрогеологических и геоморфологических условий вполне возможна. В гиперпространстве «1в» никакие новые факторы и причины не идентифицируются, ассоциации химических элементов только подтверждают выводы, сделанные в отношении гиперпространств «1а» и «1б». Интересно, что фактор биогенеза удалось расшифровать только в гиперпространствах «1а» и «1в», в гиперпространстве «1б» он не идентифицируется. Это свидетельствует о том, что при геостатистическом моделировании причин поступления и накопления в растениях химических элементов методом «композиционный биplot» полезно

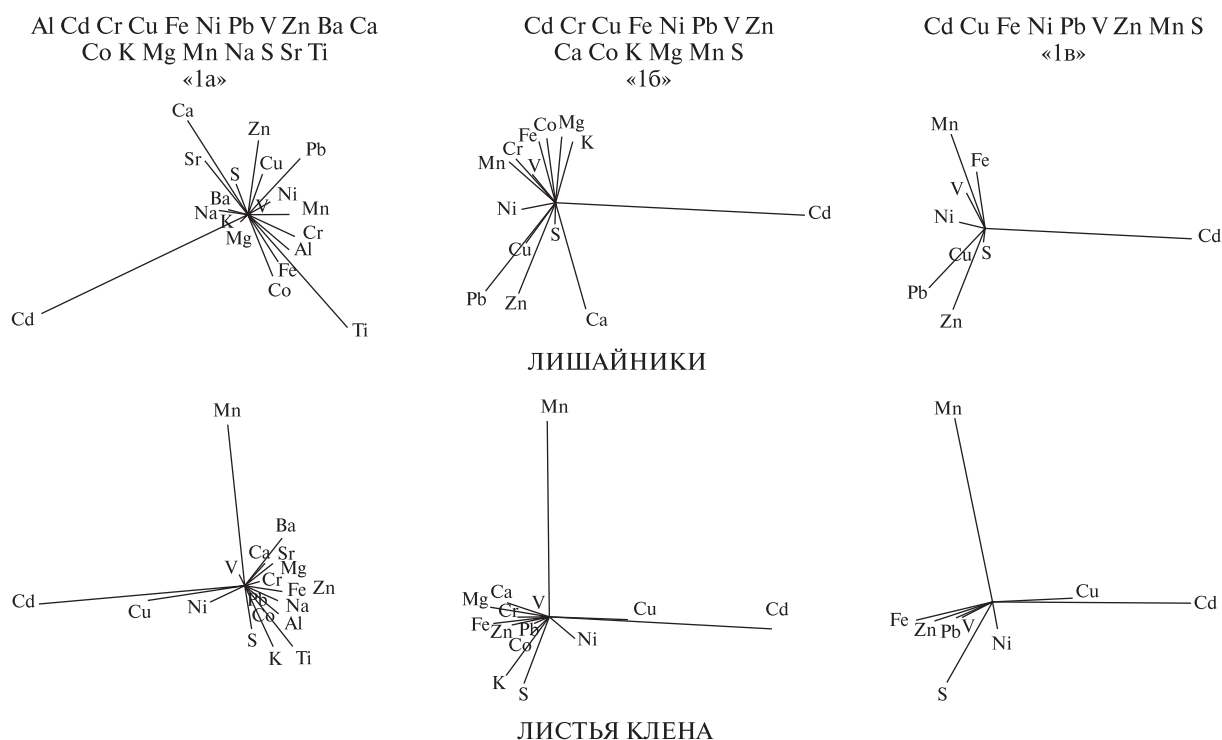


Рис. 1. Графики геостатистических моделей «композиционный биplot», построенных по данным о содержании химических элементов в эпифитных лишайниках и листьях клена остролистного, отобранных в дендропарке «Тростянец»

Fig. 1. The drawing graphs of the composite biplot geostatistical models built according to the content of chemical elements in epiphytic lichens and Norway maple leaves collected in *Trostryanets* arboretum

обращаться не к одной гиперпространственной модели (не к одному набору химических элементов, вводимому в модель), а к двум-трем или более.

Эффективным инструментом выявления геохимических причин поступления и накопления в растениях химических элементов являются модели треугольных диаграмм (рис. 2). Отчасти они подтверждают выводы, сделанные при анализе биplotов, и позволяют увидеть некоторые новые геохимические закономерности. Из данных рис. 2 следует, что закономерности накопления химических элементов в лишайниках и листьях могут быть почти одинаковыми, похожими или разными.

Примерно одинаковая картина накопления элементов в лишайниках и листьях наблюдается для триплета S-K-Zn. Эти элементы — биогены, и данный триплет характеризует та-

кой фактор, как биогенез. И для лишайников, и для листьев значения этого фактора близки. Наиболее активным биогеном выступает K, промежуточное положение занимает S, наименьшую роль как биоген играет Zn. На «лишайниковой» диаграмме S-K-Zn заметно также отклонение точек отбора проб от линии S-K в сторону Zn. Это говорит о том, что для лишайников поглощение цинка имеет несколько большее значение, чем для листьев клена. Это, вероятно, обусловлено более активным поглощением лишайниками мелкодисперсных атмосферных аэрозолей, которые обогащены цинком. О загрязнении цинком атмосферы в дендропарке «Тростянец» речь, конечно, не идет, но региональное воздушное поступление Zn на территорию от удаленных промышленных предприятия, скорее всего, имеет место.

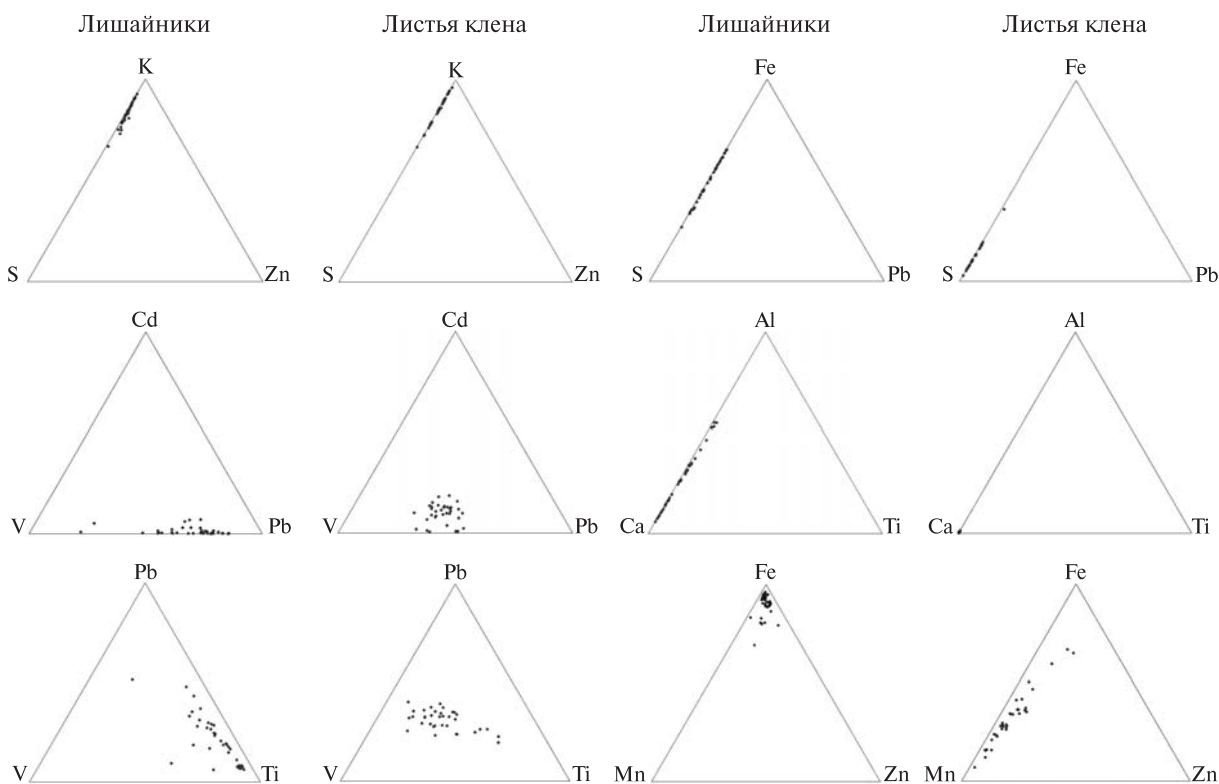


Рис. 2. Треугольные диаграммы распределения точек отбора проб эпифитных лишайников и листьев клена остролистного на территории дендропарка «Тростянец»

Fig. 2. The triangular distribution drawing graphs of sampling points of epiphytic lichens and Norway maple leaves collected at the territory of *Trostanets* arboretum

Похожие картины накопления химических элементов лишайниками и листьями отмечены для триплетов S-Fe-Pb и V-Cd-Pb. В них моделируются разные типы загрязнения атмосферы и, возможно, диаграмма триплета S-Fe-Pb отражает также загрязнение грунтовых вод. При этом значение могут иметь следующие факторы: 1) влияние кислотных дождей (S); 2) региональное и локальное поступление в атмосферу крупнодисперсных аэрозолей терригенного и техногенного происхождения (Fe); 3) локальное загрязнение атмосферы мелкодисперсными пирогенными аэрозолями низких (автомобильных) выбросов (Pb). На диаграмме S-Fe-Pb для листьев сера, возможно, также указывает на загрязнение грунтовых вод стоками животноводческого предприятия. Диаграмма V-Cd-Pb отражает регио-

нальное (Cd) и локальное (V, Pb) загрязнение атмосферы мелкодисперсными пирогенными аэрозолями относительно высоких (V) и низких (Pb) источников выбросов.

Сопоставление конфигурации точек на диаграммах S-Fe-Pb для лишайников и листьев (см. рис. 2) показало, что в общей сумме атмосферного загрязнения, на которое указывают как лишайники, так и листья, значение мелкодисперсных пирогенных аэрозолей низких выбросов (Pb) ничтожно по сравнению с пылевой нагрузкой (Fe) и газовым (сернистым, включая кислотные дожди) загрязнением атмосферы. Но на «лиственной» диаграмме S-Fe-Pb точки отбора проб смещены в сторону S, то есть листья интенсивнее накапливают серу. Вряд ли они поглощают ее из атмосферы сильнее, чем лишайники, на ко-

Таблица. Факторы и причины формирования геохимических полей в приземной атмосфере и почвах ландшафтов дендропарка «Простянец»
Table. The factors and the causes of geochemical fields formation in the surface atmosphere and the soils of *Trostrynets arboretum landscapes*

№ гипер-странства (рисунка)	Приземная атмосфера: лишайники		Приземная атмосфера и почва: листва клена	
	Ассоциация химических элементов, представленная пучком лучей ¹	Наиболее вероятные факторы и причины образования ассоциации химических элементов	Ассоциация химических элементов, представленная пучком лучей	Наиболее вероятные факторы и причины образования ассоциации химических элементов
1a	Ni ₍₄₎ -V ₍₂₎ K ₍₄₎ -Mg ₍₄₎	Сжигание топлива в котельной и жилых домах Фактор слабости техногенеза в районе исследований	Va ₍₃₎ -Mg ₍₃₎ -Ca ₍₄₎	Влияние на корневое поступление литогенной основы (почвоподстилающих горных пород и минералогического состава почв)
	Va ₍₄₎ -Na ₍₄₎	Интерпретируется плохо, возможно влияние аэрозолей морского происхождения, поступающих с атлантическими воздушными массами («западный перенос») Влияние атмосферных осадков, в том числе кислых	Cd ₍₁₎ -Cu ₍₂₎ -Ni ₍₃₎	Корневое поглощение из грунтовых и подземных вод в условиях умеренного техногенеза
1a	Ca ₍₂₎ -Sr ₍₃₎ -S ₍₄₎	Влияние атмосферных осадков, в том числе кислых	Ti ₍₃₎ -Al ₍₄₎ -Co ₍₄₎	Общее поглощение листьями пыли из атмосферы в условиях умеренного техногенеза
	Zn ₍₃₎ -Cu ₍₄₎ Ti ₍₁₎ -Al ₍₃₎	Биогенез ³ Атмосферная пыль естественного происхождения (пыление с полей)	K ₍₃₎ -S ₍₄₎	Биогенез
	Fe ₍₃₎ -Co ₍₃₎	Крупнодисперсные пылеаэрозоли техногенного происхождения, принесенные от дальних промышленных узлов	Fe ₍₄₎ -Zn ₍₄₎	Влияние Eh и pH атмосферных осадков на поглощение химических элементов листьями из атмосферы
	Mn ₍₄₎ Cr ₍₃₎	Eh атмосферных осадков Интерпретируется плохо, возможно, совместное влияние Eh и pH атмосферных осадков	Mn ₍₁₎	Влияние Eh и pH грунтовых и подземных вод на корневое поглощение химических элементов
	Pb ₍₃₎	Автотранспортное загрязнение от местных и технических дорог		
	Cd ₍₁₎	Мелкодисперсные аэрозоли техногенного происхождения, принесенные от дальних промышленных узлов		

Окончание таблицы
Ending of table

№ гипер-тран-ства (рисун-ка)	Приземная атмосфера: лишайники		Приземная атмосфера и почва: листья клена
	Ассоциация химических элементов, представленная пучком лучей ¹	Наиболее вероятные факторы и причины образования ассоциации химических элементов	
1б	Cr ₍₃₎ -Mn ₍₃₎ -V ₍₄₎ Fe ₍₃₎ -Co ₍₃₎ Mn ₍₃₎ -K ₍₃₎ Pb ₍₂₎ -Zn ₍₂₎ -Cu ₍₃₎ Cd ₍₁₎	Локальное поступление крупнодисперсных пылеаэрозолей техногенного происхождения Те же, что и для Fe ₍₃₎ -Co ₍₃₎ на 1а Те же, что и для K ₍₄₎ -Mg ₍₄₎ на 1а Те же, что и для Pb ₍₃₎ на 1а Те же, что и для Cd ₍₁₎ на 1а	Те же, что и для Cd ₍₁₎ -Cu ₍₂₎ -Ni ₍₃₎ на 1а Те же, что и для Ba ₍₃₎ -Mg ₍₃₎ -Ca ₍₄₎ на 1а Комплекс факторов листового поглощения из атмосферы из разных фаз (пыли, аэрозолей и атмосферных осадков), при одновременном влиянии Eh и pH осадков Те же, что и для K ₍₃₎ -S ₍₄₎ на 1а Те же, что и для Mn ₍₁₎ на 1а
	Ca ₍₂₎ Ni ₍₃₎ S ₍₄₎	Те же, что и для Ti ₍₁₎ -Al ₍₃₎ на 1а Интерпретируется плохо, возможно влияние pH атмосферных осадков (как закисления, так и подщелачивания) Кислые дожди (низкие pH атмосферных осадков)	S ₍₂₎ -K ₍₂₎ -Co ₍₄₎ Mn ₍₁₎ Ni ₍₃₎
1в	Pb ₍₂₎ -Cu ₍₃₎ Zn ₍₂₎ -S ₍₄₎ Mn ₍₂₎ -Fe ₍₃₎ -V ₍₃₎ Cd ₍₁₎ Ni ₍₄₎	Те же, что и для Pb ₍₃₎ на 1а и Pb ₍₂₎ -Zn ₍₂₎ -Cu ₍₃₎ на 1б Те же, что и для Zn ₍₃₎ -Cu ₍₄₎ на 1а Те же, что и для Cr ₍₃₎ -Mn ₍₃₎ -V ₍₄₎ на 1б Те же, что и для Cd ₍₁₎ на 1а и 1б Те же, что и для Ni ₍₃₎ на 1б	Те же, что и для Mn ₍₁₎ на 1а и 1б Те же, что и для K ₍₃₎ -S ₍₄₎ на 1а и S ₍₂₎ -K ₍₂₎ -Co ₍₄₎ на 1б Те же, что и для Ni ₍₃₎ на 1б

П р и м е ч а н и я : ¹ — ассоциации в столбце расположены в порядке уменьшения тесноты связей между химическими элементами, выражаемой величиной угла между лучами, соответствующими им (чем больше угол, тем менее тесные связи в ассоциации); ² — индексы в скобках около символов химических элементов обозначают балльную оценку силы проявления факторов, которые обуславливают их содержание в лишайниках и выражаются длиной лучей: 1 — очень сильное проявление фактора; 2 — сильное; 3 — среднее; 4 — слабое; ³ — под биогеозом в данном случае подразумевается вся сумма биохимических и биогеохимических процессов трансформации химических элементов, начиная от их пассивного или активного поглощения из окружающей среды растительными клетками и заканчивая процессами гумификации мертвого органического вещества, содержащего эти элементы.

торые влияет обогащенный сульфатами стволочной сток [1]. Поэтому логично предположить, что сдвиг точек в сторону S на графике S-Fe-Pb для листьев клена обусловлен тем, что соединения серы в листья попадают не только из атмосферы и стволового стока, но и вследствие корневого поглощения. А на последнее в исследуемом районе может влиять только загрязнение подземных вод отходами животноводства, которые, как известно, являются источником поступления в геологическую среду соединений серы [11].

Обе диаграммы V-Cd-Pb — «лишайниковая» и «лиственная» — показывают, что при формировании структуры мелкодисперсного пирогенного загрязнения атмосферы преобладающее значение имеют его локальные источники (V, Pb). Роль воздушных масс, загрязненных выбросами из удаленных источников (Cd), второстепенна. Но на этом сходство «лишайникового» и «лиственного» триплетов V-Cd-Pb заканчивается. «Лишайниковый» триплет показывает, что эти организмы чувствительнее реагируют на низкие автотранспортные выбросы, загрязняющие воздух. А «лиственный» триплет V-Cd-Pb, на котором «облако» точек смещено в сторону V, свидетельствует о том, что листва лучше улавливает мелкодисперсные пирогенные аэрозоли более высоких источников выбросов — дымоходов и труб. Некоторая вытянутость «облака» точек в сторону Cd на диаграмме V-Cd-Pb для листьев может указывать на то, что Cd в силу своей исключительно высокой растворимости и миграционной способности в биологических системах интенсивно поглощается корнями даже из незагрязненной геологической среды, а затем аккумулируется в листьях [8]. Не исключено, хотя и менее вероятно, что Cd поступает в листья из воздуха в результате регионального атмосферного переноса.

Обнаружены отличия также между диаграммами накопления химических элементов лишайниками и листьями — для триплетов Ca-Al-Ti, V-Pb-Ti, Mn-Fe-Zn (см. рис. 2). Это означает, что геохимические факторы, обуславливающие поступление данных химических

элементов в лишайники и листья клена, отличаются или проявляются по-разному.

Триплет Ca-Al-Ti для лишайников показывает, что главную роль в атмосферной нагрузке терригенной пылью играют Ca и Al. Это закономерно, так как в терригенной пыли, как правило, есть алюмосиликаты и карбонаты кальция. Титан в земельной пыли встречается постоянно, но как микроэлемент, то есть в меньших количествах, чем Ca и Al.

В триплете Ca-Al-Ti для листьев все пункты отбора проб сконцентрированы около Ca. Значит, поступление в листья алюминия из алюмосиликатов и титана из титан-содержащих минералов (например, из частичек ильменита) отсутствует. Из атмосферы листья не поглощают эти элементы в силу большой величины терригенных частиц, а из грунтовых вод — в силу ничтожной растворимости алюмосиликатов и титан-содержащих минералов. Кальций, как правило, содержится в грунтовых водах, откуда и происходит его поглощение корнями и миграция в листья.

Диаграмма V-Pb-Ti позволяет сопоставить относительное влияние на лишайники и листья мелкодисперсных аэрозолей высоких (V) и низких (Pb) источников выбросов, а также крупнодисперсной терригенной пыли (Ti) — основных воздушных частичек, загрязняющих ландшафты дендропарка «Тростянец». Конфигурация точек на «лишайниковом» триплете свидетельствует о том, что главную роль в пылеаэрозольной нагрузке на слоевища лишайников играют терригенные частички: точки отбора проб на диаграмме смещены к маркеру — титану. Вторыми по значению нагрузками являются пирогенные аэрозоли низких выбросов: «облако» точек несколько вытянуто к их маркеру — свинцу. Наименьшее влияние на лишайники оказывают выбросы аэрозолей из отопительных систем, маркируемые ванадием.

Диаграмма V-Pb-Ti для листьев свидетельствует о другом: «облако» точек расположено примерно в центре треугольника и несколько вытянуто от линии V-Pb в сторону Ti. Центральное положение точек отбора проб свидетельствует о том, что все три химических эле-

мента, не будучи биофилами, поступают в листья преимущественно через корни (речь идет не о количестве поглощаемых элементов, а только о факте их поглощения). Содержание и подвижность V, Pb и Ti в геологической среде территории, слабо подверженной техногенезу, контролируется в основном природными (минералогическим, гидрогеохимическим, почвенно-геохимическим) факторами.

Триплет Mn-Fe-Zn, как модель геохимической причинности, для расшифровки сложен. Во-первых, эти химические элементы характерны для атмосферной пыли. Но такой элемент, как Fe, свойственен крупнодисперсным аэрозолям (и техногенным, и терригенным), Zn — мелкодисперсным пирогенным (высоких и низких выбросов), а Mn по приуроченности к атмосферным частичкам занимает промежуточное положение между Fe и Zn. Во-вторых, Mn, Fe и Zn являются биогенами и активно поглощаются корнями. При этом деревья семейства кленовых по отношению к Mn выступают избирательными биогеохимическими концентраторами [6]. В-третьих, Mn и Fe являются маркерами окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий среды, которые имеют важное значение для корневого поглощения растениями химических веществ и элементов из жидкой фазы. Учитывая это, с большой степенью вероятности можно утверждать следующее. При загрязнении атмосферы Mn, Fe, Zn («лишайниковый» триплет) ведущую роль играют терригенные аэрозоли, которые индицируются железом. Более-менее значительных источников техногенных аэрозолей дезинтеграции, содержащих Fe, в с. Тростянец и его окрестностях нет. Преимущественное влияние именно терригенных крупнодисперсных частиц на дендропарк «Тростянец» отмечено выше. Что касается поступления Mn, Fe, Zn в листья, то заметного поглощения листвой субстанций, маркируемых этой группой элементов, не происходит. На диаграмме Mn-Fe-Zn отражено в основном корневое поглощение Mn и Fe и их дальнейшая миграция в листья. Оба химических элемента являются не только биофилами, но и

макроэлементами: их корневое поступление в листья клена будет, очевидно, более сильным, чем поступление цинка — тоже биофила, но микроэлемента. Сдвиг «облака» точек на графике в сторону Mn объясняется особенностями деревьев семейства кленовых, которые, как известно [6], являются концентраторами марганца.

Выводы

1. Интерпретация геостатистических моделей «композиционный биplot», рассчитанных по данным биогеохимической индикации с использованием эпифитных лишайников и листьев клена остролистного, позволяет эффективно идентифицировать широкий комплекс факторов и причин геохимического воздействия на парковые ландшафты, находящиеся под относительно слабым антропогенным влиянием в условиях регионального фона.

2. По моделям, созданным на основе данных о содержании химических элементов в лишайниках, идентифицированы следующие факторы антропогенно-геохимического воздействия на ландшафты дендропарка «Тростянец»: а) региональный перенос воздушных масс, загрязненных в промышленных узлах, удаленных от парка на десятки километров; б) влияние слабых локальных источников атмосферных выбросов (автотранспорт, печное отопление, котельная); в) естественное пыление с поверхности почвы.

3. По моделям, созданным на основе данных о содержании химических элементов в листьях клена остролистного, идентифицированы следующие факторы воздействия на почвы ландшафтов дендропарка «Тростянец»: а) сточные воды близлежащего животноводческого предприятия; б) окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия грунтовых и подземных вод; в) минералогические и геохимические особенности почвообразующих пород. По листьям клена также идентифицировано атмосферное загрязнение и такой биогеохимический фактор, как избирательное накопление марганца из почво-грунтов в фоновых условиях.

1. Аржанова В.С. Геохимия ландшафтов и техногенез / В.С. Аржанова, П.В. Елпатьевский. — М. : Наука, 1990. — 186 с.
2. Блюм О.Б. Біогеохімічна ліхеноіндикація важких металів у приземному шарі повітря міських ландшафтів / О.Б. Блюм, Ю.Г. Тютюнник, В.М. Пашенко // Укр. ботан. журн. — 1988. — Т. 45, № 3. — С. 66—71.
3. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. — М. : Недра, 1990. — 335 с.
4. Кист А.А. Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии / А.А. Кист. — Ташкент : Фан, 1987. — 236 с.
5. Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений / А.Л. Ковалевский. — Новосибирск : Наука, 1991. — 294 с.
6. Конова Н.И. Марганец в биосфере (экологические аспекты) / Н.И. Конова, С.В. Летунова. — М. : Наука, 1991. — 144 с.
7. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. — М. : Астрей-2000, 1999. — 610 с.
8. Серегин И.В. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция / И.В. Серегин, А.Д. Кожевникова // Физиология растений. — 2008. — Т. 55, № 1. — С. 3—26.
9. Тютюнник Ю.Г. Оценка загрязнения приземного слоя атмосферы городских территорий с применением методов математической статистики / Ю.Г. Тютюнник, Дж.-А. Мартин-Фернандес, Дж. Даунис-и-Эстаделя // География и природные ресурсы. — 2007. — № 4. — С. 145—153.
10. Тяжелые металлы — индикаторы причин атмосферного загрязнения в Украинских Карпатах (геостатистический анализ) / Ю.Г. Тютюнник, Р. Толосана-Дельгадо, В. Павловски-Глан, О.Б. Блюм // Геоэкология. — 2006. — № 5. — С. 433—439.
11. Хільчевський В.К. Агрогідрохімія / В.К. Хільчевський. — К. : ВПЦ «Київський університет», 1995. — 162 с.
12. Martín-Fernández, J.A. Esperiencia del estudio geostatístico de composición química de suelos, de los indicadores de factores y de las condiciones geoquímicas: Report de Recerca IMA 04-01-RR / J.-A. Martín-Fernández, J. Daunis-i-Estadella, Yu. G. Tyutyunnik. — Girona: Universitat de Girona, 2004. — 50 p.
- shaftiv [Biogeochemical lichenoidication of heavy metals in the surface air of urban landscapes], Ukrain's'kyj Botanichnyj Zhurnal, [Ukrainian Botanical Journal], vol. 45, N 3, pp. 66—71.
3. Saet, Yu. E., Revich, B.A., Yanin, E.P., Smirnova, R.S., Basharkevich, I.L., Onishhenko, T.L., Pavlova, L.N., Trefilova, N.Ya., Achkasov, A.I., and Sarkisyan, S.Sh. (1990), Geokhimiya okruzhayushhej sredy [Environmental geochemistry], Moskva, Nedra, 335 p.
4. Kist, A.A. (1987), Fenomenologiya biogeokhimii i bioneorganicheskoj khimii [Phenomenology of biogeochemistry and bioinorganic chemistry], Tashkent, Fan, 236 p.
5. Kovalevskij, A.L. (1991), Biogeokhimiya rastenij [Biogeochemistry of plants], Novosibirsk, Nauka, 294 p.
6. Konova, N.I. and Letunova, S.V. (1991), Marganets v biosfere (ekologicheskie aspekty) [Manganese in the biosphere (the ecological aspects)], Moskva, Nauka, 144 p.
7. Perelman, A.I. and Kasimov, N.S. (1999), Geokhimiya landshafta [Landscape geochemistry]. Moskva, Astreya-2000, 610 p.
8. Seregin, I.V. and Kozhevnikov, A.D. (2008), Rol' tkanej kornya i pobega v transporte i nakoplenii kadmiya, svintsa, nikelya i strontsiya [The role of root and shoot tissues in the transport and accumulation of cadmium, lead, nickel and strontium] Fiziologiya rastenii [Plant Physiology], vol. 55, N 1, pp. 3—26.
9. Tyutyunnik, Yu.G., Martín-Fernández, J.A. and Daunis-i-Estadella, J. (2007), Otsenka zagryazneniya prizemnogo sloya atmosfery gorodskikh territorij s primeneniem metodov matematicheskoy statistiki [Evaluation of surface air pollution in urban areas using the methods of mathematical statistics]. Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources], N 4, pp. 145—153.
10. Tyutyunnik, Yu.G., Tolosana-Delgado, R., Pavlovskii-Glan, V. and Blum, O.B. (2006), Tyazhelye metally — indykatory prichin atmosfernogo zagryazneniya v Ukrainskikh Karpatakh (geostatisticheskij analiz) [Heavy metals as the indicators of causes of air pollution in the Ukrainian Carpathians (geostatistical analysis)]. Geoekologiya [Geoecology], N 5, pp. 433—439.
11. Khil'chevskij, V.K. (1995), Agrogidrokhimiya [Agrohydrochemistry]. Kyiv, VPCz «Kyivskii universitet», 162 p.
12. Martín-Fernández, J.A., Daunis-i-Estadella, J. and Tyutyunnik, Yu.G. (2004), Esperiencia del estudio geostatístico de composición química de suelos, de los indicadores de factores y de las condiciones geoquímicas. Report de Recerca IMA 04-01-RR. Girona, Universitat de Girona, 50 p.

REFERENCES

1. Arzhanova, V.S. and Elpat'evskiy, P.V. (1990), Geokhimiya landshaftov i tekhnogenez [Landscape geochemistry and technogenesis], Moskva, Nauka, 186 p.
2. Blum, O.B., Tyutyunnik, Yu.G. and Paschenko, V.M. (1988), Biogeokhimichna likhenoindykatsiya vazhkykh metaliv u pryzemnomu shari povitrya mis'kykh land-

Рекомендував до друку П.А. Мороз
Надійшла до редакції 28.12.2014 р.

Ю.Г. Тютюнник¹, О.Б. Блюм¹,
Дж. Даунис-и-Естадел'я², Дж.А. Мартин-Фернандес²

¹ Національний ботанічний сад
ім. М.М. Гришка НАН України,
Україна, м. Київ

² Університет Жирони, Іспанія, м. Жирона

ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДЕНДРОПАРК «ТРОСТЯНЕЦЬ» НАН УКРАЇНИ МЕТОДОМ БІОГЕОХІМІЧНОЇ ІНДИКАЦІЇ

Методом біогеохімічної індикації проведено оцінку антропогенного геохімічного впливу на територію, яка особливо охороняється, важливу пам'ятку природи, історії та культури України — дендропарк «Тростянець» НАН України. Як біоіндикатори вмісту хімічних елементів у повітрі використано епіфітні лишайники *Parmelia sulcata* Tayl., *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. та *Evernia prunastri* (L.) Ach. Для біогеохімічної індикації стану ґрунтів і ґрунтових вод використано листя клену гостролистого (*Acer platanoides* L.). У зазначених рослинах-індикаторах визначено методом індукційно-зв'язаної плазми — оптико-емісійної спектроскопії вміст 20 мікро- та макроелементів (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn, Ba, Ca, Co, K, Mg, Mn, Na, S, Sr, Ti, Se). Дані щодо вмісту хімічних елементів оброблено та інтерпретовано за допомогою геостатистичного методу «композиційний біplot» і методу трикутних діаграм. Вивчено атмогеохімічні і літогідрогеохімічні поля, встановлено причини формування антропогенних геохімічних навантажень, показано їх можливий вплив на унікальні садово-паркові ландшафти дендропарку.

Ключові слова: дендропарк «Тростянець», біогеохімічна індикація, атмосферне забруднення, забруднення ґрунтів, геостатистичний аналіз.

Yu. G. Tyutyunnik¹, O. B. Blum¹,
J. Daunis-i-Estadella², J. A. Martín-Fernández²

¹ M. M. Gryshko National Botanical Garden,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Ukraine, Kyiv

² University of Girona, Spain, Girona

ASSESSMENT OF THE ANTHROPOGENIC LOAD ON *TROSTYANETS* ARBORETUM OF THE NAS OF UKRAINE BY BIOGEOCHEMICAL INDICATION METHOD

The method of biogeochemical indication was used for the assessment of the anthropogenic geochemical impact on the specially protected territory of an important monument of nature, culture and history of Ukraine — *Trostyanets* arboretum. As bioindicators of chemical elements content in the atmosphere the epiphytic lichens of *Parmelia sulcata* Tayl., *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. and *Evernia prunastri* (L.) Ach. were used. For the biogeochemical indication of soil and groundwater conditions the leaves of Norway maple (*Acer platanoides* L.) were used. In the above-mentioned indicator plants the content of 20 micro- and macroelements (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn, Ba, Ca, Co, K, Mg, Mn, Na, S, Sr, Ti, Se) was detected (by ICP OE spectrometry). The obtained data of biogeochemical indication of the content of chemical elements have been processed and interpreted using the geostatistical method of composite biplot and the method of triangular diagrams. Atmogeochemical and lithohydrogeochemical fields were studied and the causes of formation of anthropogenic geochemical loads were elucidated and their potential impact on the unique landscapes of *Trostyanets* arboretum was shown.

Key words: *Trostyanets* arboretum, biogeochemical indication, air pollution, soil pollution, geostatistical analysis.