

УДК 550.41

Ю. Тютюнник, д-р геогр. наук, проф., пров. наук. співроб.

E-mail: carme1@mail.ru

Інститут еволюційної екології НАН України

вул. Акад. Лебедєва, 37, м. Київ, 03143, Україна,

О. Шабатура, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: sand@univ.kiev.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,

Х. Дауніс-і-Естадел'я, д-р філософії, доц.

E-mail: pepus.daunis@udg.edu

Університет Жирони, Відділення інформатики, прикладної математики і статистики

Кампус Монтеліві Е-17071а, м. Жирона, Іспанія

ГЕОСТАТИСТИЧНЕ ВИВЧЕННЯ ЛАТЕРАЛЬНОГО І РАДІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ КОНЦЕНТРАЦІЙ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТОВОМУ ПОКРИВІ ЗОНИ ПОМІРНОГО ТЕХНОГЕНЕЗУ (на прикладі субурбії київського мегаполісу)

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук О.І. Меньшовим)

Розподіл концентрацій хімічних елементів у ґрунтовому покриві залежить від дії природних і техногенних факторів і характеризується різними закономірностями міграції та накопичення в латеральному і радіальному напрямках. Вивчення концентрацій хімічних елементів в ґрунтах різних елементарних геохімічних ландшафтів дозволило визначити деякі із статистично значущих закономірностей розподілу хімічних елементів на території Ірпінь-Буча-Ворзельської субурбії Київського мегаполісу. Результати аналізу 190 проб із 36 повнопрофільних ґрунтових розрізів лягли в основу бази складених даних (CoDa-дані), що утворюються векторним добутком усіх вимірних величин концентрацій хімічних елементів у кожній пробі ґрунту. Геостатистична модель "біплов" CoDa-даних являє собою гіперпростір геохімічних факторів і причин з розмірністю, що відповідає кількості визначених у пробах хімічних елементів. Проекція цього гіперпростору на площину у вигляді "зірки" біплоту з одночасним нанесенням на площину проекції точок пробовідбору дає можливість наочно відслідковувати імовірнісні (статистичні) показники маркування хімічними елементами дії тих чи інших геохімічних чинників і причин, що мають місце на досліджуваній території. Кластеризація точок пробовідбору відбувається в областях імовірного впливу на відповідну групу проб певних геохімічних факторів. Установлено, що геостатистичними параметрами, отриманими при моделюванні CoDa-даних щодо вмісту в ґрунтах La-Ce-Nd у 12-вимірному та Fe-Sr-Ga у 9-вимірному гіперпросторах, позначається область, в якій виявляє геохімічний фактор "вплив вихідного мінерального складу ґрунтоутворювальної породи". Область, що окреслюється відповідними геостатистичними параметрами Rb-Sr-Ba у 12-вимірному та Ba-Rb у 9-вимірному гіперпросторах, статистично "прив'язана" до кисло-лужних умов у ґрунтах. Область марганцю в обох зазначених гіперпросторах та заліза у 6-вимірному маркує окисно-відновні умови в ґрунтах. Область Pb маркує техногенез (особливо його пірогенну складову, пов'язану з автотранспортними викидами). Область Zn-Cu пов'язана з дією і впливом, у першу чергу, біогенних процесів гумусоутворення, гумусо накопичення, торфонакопичення (біогенез). За силою відносного впливу на елементний склад верхнього (10 см) шару ґрунтів обстеженої території геохімічні фактори розташовуються так: техногенез > біогенез > вплив вихідної літогенної основи. При аналізі моделі 6-вимірного гіперпростору виявлена загальна тенденція до розділення точок між областями, що маркуються Fe-Sr-Ba-Rb (літолого-мінералогічний чинник) і Pb (техногенез, насамперед атмосферне забруднення, спричинене автотранспортом). Для точок ґрунтового пробовідбору з підлеглих ландшафтів проглядається тенденція групуватися в областях, що маркуються Fe-Sr-Ba-Rb і Zn (біогенез), з одного боку, і Zn та Pb, – з іншого. Геохімічні чинники і причини виразніше виявляють себе при аналізі CoDa-даних проб, відібраних з прив'язкою до генетичних ґрунтових горизонтів, аніж таких, що були відібрані з прив'язкою до глибини взяття проби – суто формальної ознаки.

Ключові слова: біплов, гіперпростір геохімічних чинників і причин, складені дані, техногенез, біогенез, літолого-мінералогічний чинник.

Дослідження виконувалися в західній субурбії Київського мегаполісу в межах трикутника, утвореного населеними пунктами м. Ірпінь – смт Буча – м. Ворзель. Рекреаційна специфіка території поєднується зі значною промисловою діяльністю (машинобудування, виробництво будматеріалів, скловиробів, деревообробка та виготовлення меблів, харчова промисловість); розвиненим житловим будівництвом та осушувальними меліораціями в долині річки Ірпінь. Крім того, територія має розгалужену транспортну інфраструктуру (автодороги, залізниці, аеродром). При східних вітрах вона може зазнавати впливу забруднених повітряних мас, що сформувалися над Києвом. У фізико-географічному відношенні – це південна частина Київського Полісся з переважанням задрових, морено-задрових і заплавної ландшафтів. Гідрографічна мережа добре розвинена, але перепади висот незначні – долини неглибокі.

З урахуванням ландшафтно-ї структури території, було закладено 36 повнопрофільних ґрунтових розрізів, з яких 26 віднесено до автономних і 13 – до підлеглих елементарних геохімічних ландшафтів (ЕГЛ). У розрізах погоризонтно (для кожного генетичного ґрунтового горизонту) було відібрано 190 проб, які аналізувалися рент-

ген-флуоресцентним методом на кафедрі геохімії, мінералогії та петрографії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Розглянуті літературні матеріали свідчать про суттєвий вплив усіх чинників техногенезу (промисловості, енергетики, транспорту, сільського господарства, соціального комплексу, який формує побутові викиди та звалища, військово-промислового комплексу та ін.) на латеральний і радіальний розподіл концентрацій хімічних елементів у ґрунтах [1–4, 11, 13, 23], у тому числі й на територіях рекреаційного призначення [3, 11, 21]. Техногенне забруднення ґрунтів, крім різного геохімічного навантаження, має і відмінну просторову характеристику – зазвичай формуються ареали навколо осередкових джерел забруднення (сягаючи 20–25 км [12]), або витягнуті вздовж шляхів ореоли (завширшки перші сотні метрів), що виявляється як на локальному, так і на регіональному рівнях.

Найбільш поширені математичні способи обробки даних геохімії ґрунтів – факторний аналіз для виявлення залежностей і структури діючих факторів [14, 19, 24]; інтегрування різномасштабних даних – для пошуку розмежувальних просторових меж і показників [17, 20]; кластер-аналіз – установлення спорідненості між окремими об'єк-

тами на основі аналізу множини ознак; так і "класичні" методи множинної регресії та кореляційного аналізу [14]. Застосовуються також більш складні ймовірно-математичні алгоритми, наприклад "автомат Мура" – для оцінки міграційного накопичення техногенних забруднювачів у ґрунтах [8], зокрема кобальту, свинцю, міді, цинку. З іншого боку, будь-якому математичному моделюванню має передувати ґрунтовне ландшафтно-геохімічне вивчення досліджуваної території, оскільки нерівномірність техногенного розподілу елементів збільшується неоднорідністю геохімічної обстановки в геохімічних ландшафтах [12].

Знайдено фактори розподілу екотоксикантів у ґрунтових покривах і виявлено відносну факторизацію та класифікацію їх у загальній дії забруднення; за вмістом у ґрунті Fe, Mg, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr і Cd на першому місці виявилася висота точки відбору проб ґрунту, на другому – відстань до сміттєзвалища, на третьому – відстань до дороги, на четвертому – крутизна схилу, а на п'ятому – глибина відбору проб [2]. Але разом із тим, застосовані математичні методи до багатопараметричного аналізу геохімічних даних ґрунтових покривів, зокрема для цілей виявлення діючих факторів міграції ряду хімічних елементів та їхньої інтенсивності впливу, мають переважно якісний характер, не оперують кількісними показниками, а отже, залежать здебільшого від фаховості та ерудиції інтерпретатора.

Нами за мету роботи поставлено вивчення латерального і радіального розподілу хімічних елементів у ґрунтах (зазначеного району) за допомогою відносно нового напрямку математичного моделювання в геохімії ґрунтів – геостатистичного аналізу складених даних (CoDa-даних або просто CoDa) методом "біплов". Основи такого моделювання розроблялися в Департаменті інформатики та прикладної математики Університету Жирони (Іспанія) [5, 16, 18, 22].

Методика досліджень. Робоча гіпотеза дослідження, а також її практична апробація в конкретних геохімічних дослідженнях навколишнього середовища викладена в [16, 18]. Її головні положення такі:

1. Хімічний склад проби уявляється у формі векторного добутку всіх визначених в ній концентрацій хімічних елементів і отримання CoDa-даних.

2. Кожен хімічний елемент можна розглядати як маркер того чи іншого геохімічного чинника або групи чинників, що обумовлюють його наявність у пробах. У сукупності всі хімічні елементи утворюють гіперпростір геохімічних факторів і причин з розмірністю, що відповідає кількості елементів. Гіперпростір має імовірно-статистичну природу і будується на основі CoDa-даних.

3. Гіперпростір геохімічних факторів і причин візуалізується у вигляді двовимірної проекції, що зветься "біплов" і нагадує за формою зірку, кожен "промінь" якої відповідає прояву якоїсь геохімічної причини, окреслює собою у гіперпросторі й візуально – на проекції ту область, де ця причина виявляється (рис. 1–3). Об'єднання променів у пучок, тобто зменшення кута між ними, свідчить про спорідненість причин, що обумовлюють наявність відповідних хімічних елементів у CoDa-даних. Повного збігу променів, так само як і абсолютного ідентифікуючого значення для кожного хімічного елемента, звісно, не буває. Може йти лише про *імовірності* маркування хімічним елементом того чи іншого геохімічного процесу. Фактичне зближення променів у гіперпросторі, їхня схильність до об'єднання в пучок вимірюється величинами дисперсій логарифмів відношень концентрацій двох сусідніх хімічних елементів А та В – $[IgA/IgB]$. Чим менший кут між променями, тим менша величина відношення $[IgA/IgB]$. Довжина променя пропорційна силі дії фактора, який з тією чи іншою імовірністю маркується відповідним

хімічним елементом і характеризується величиною середньої варіабельності дисперсій хімічного елемента $[X]_i$, що входить до CoDa. Відповідно, довжину променя l можна розрахувати як суму всіх його дисперсій (var), розділену на розмірність гіперпростору k (k – кількість співмножників у CoDa):

$$l = \frac{\sum var [X]_i}{k}.$$

Чим більша величина l , тим довший промінь. Слід пам'ятати, що перед нами двовимірна проекція k -розмірного гіперпростору, тому спотворення кутів і довжин тут неминучі.

Розшифровка біпловів полягає у правильній ідентифікації геохімічної причини, яка "змушує" об'єднуватися промені в пучки або, навпаки, займати відсторонене окреме положення у площині проекції. За довжинами променів робиться висновок щодо ступеня (сили) прояву цих причин.

4. Конфігурація "зірки" біплову залежить від набору складових у CoDa. Виключаючи або додаючи хімічні елементи в CoDa, ми тим самим впливаємо на маркування ними геохімічних причин. Тому біплоти, складені з результатів аналізів одних і тих же проб, можуть відрізнятися конфігурацією залежно від того, в якому числі й яких комбінаціях у CoDa входять елементи-маркери. Одна і та ж сама геохімічна причина може при одному наборі елементів-маркерів маркуватися одним хімічним елементом (елементами), при іншому – іншим. Зокрема, якщо в CoDa відсутні компоненти – сильні маркери, то вона буде маркуватися середніми або навіть слабкими за силою маркерами. Але з появою в наборі CoDa даних потужних елементів-маркерів роль середніх виявиться вже статистично нерозрізною. Тому варіювання наборів хімічних елементів-маркерів у процесах геостатистичного аналізу (що супроводжується змінами розмірності гіперпростору) дозволяє виявляти досить "тонку" структуру у "ґрі" різноманітних геохімічних факторів і причин, що визначають хімічний склад проб.

5. Точки, що позначають CoDa кожної проби, можна нанести на графік біплота. Якщо вплив будь-яких із геохімічних факторів і причин буде переважувати в тій чи іншій групі проб, то відповідні їм точки почнуть групуватися (кластеризуватися) в області гіперпростору, що позначатиметься променями тих хімічних елементів, які маркують саме ці чинники і причини. У граничному випадку, коли кількість компонент-маркерів зводиться до трьох, біплоти можуть бути замінені трикутними діаграмами. Використання останніх – традиційний інструмент статистичного аналізу багатьох геохімічних явищ і феноменів.

Результати досліджень. Аналіз даних геостатистичного моделювання CoDa-даних 190 проб з подальшим представленням результатів у вигляді "зірок" біплову був виконаний за трьома групами хімічних елементів-маркерів, що входять до CoDa: за Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Rb, Ba, La, Ce, Nd, Sr, Pb (12-вимірний гіперпростір); за Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Rb, Ba, Sr, Pb (9-вимірний гіперпростір); за Fe, Zn, Rb, Ba, Sr, Pb (6-вимірний гіперпростір).

Розшифровка біплота 12-вимірного простору (рис. 1) вказує, що пучок променів La-Ce-Nd позначає область, в якій проявляє себе такий геохімічний фактор, як "вплив вихідного мінерального складу ґрунтоутворювальної породи". Ніяких інших джерел TR у ґрунтах дослідженої території немає, до складу ж природних мінералів, зокрема, бастнезиту $[(Ce, La)(CO_3)F]$ і монациту $[(Ca, Ce, La, Th)PO_4]$ входять рідкоземельні елементи. Пучок променів Rb-Sr-Ba маркує швидше за все такий фактор, як "кисло-лужні умови", причому такі, що залежать не стільки від актуальної, скільки від гідролітичної кислотності ґрунтів.

Промінь Mn позначає область дії такого геохімічного фактора, як "окисно-відновні умови", а променем Fe, імовірно за все, маркується область виявлення сумісного впливу кислотно-лужних і окисно-відновних параметрів ґрунтів, взаємозв'язаних між собою. Подібного роду залежності для селену і ртуті відмічено в [11], де вміст заліза разом з іншими ґрунтологічно-геохімічними факторами (механічний склад, наявність глинистих мінералів, розміри мулуватих частинок, водний режим, обмінні властивості, відновно-окисні властивості, вміст органічної компоненти тощо) визначають їхню мобільність.

Свинець Pb є типоморфним хімічним елементом автотранспортних викидів [7], його промінь указує на область гіперпростору, в якій проявляє себе геохімічний

фактор техногенезу, насамперед у цій формі. Причому, як можна бачити з рисунку, сила його прояву – найбільша порівняно з усіма іншими геохімічними факторами, виявленими на даній території. Звідси випливає простий висновок: провідним фактором техногенного забруднення всієї вивченої території є автотранспортні викиди, за [2] область транспортних викидів може сягати 450–500 м, тому точки опробування були свідомо закладені нами на значних відстанях від автомагістралей. Проте висока щільність автодоріг субурбії виявилася занадто значимою, для того щоб відображення джерел забруднень локально-лінійної форми набуло обрисів фактично площинного ареалу.

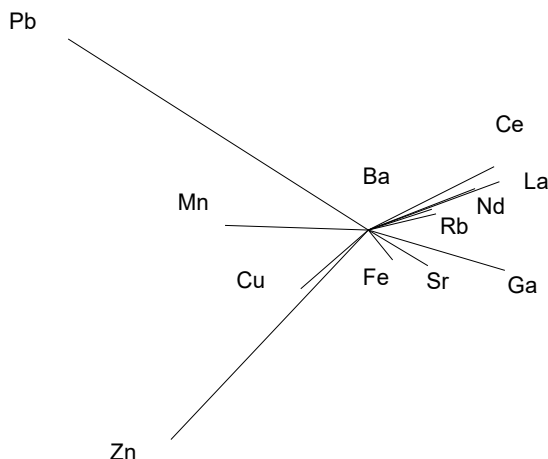


Рис. 1. Двовимірна модель (біплот) 12-вимірного гіперпростору геохімічних факторів і причин, що визначають елементний склад ґрунтових проб, відібраних в околицях Ірпеня, Бучі, Ворзеля (Київська обл.)

Область гіперпростору, що маркується групою Zn-Cu, пов'язана з біогенними процесами утворення, накопичення і трансформації органічної речовини (біогенез), які, як підкреслювалося вище, на території обстеженої території виявляють себе досить інтенсивно. Цинк, як бачимо, виступає сильнішим маркером біогенезу, ніж мідь.

Залишається неясною роль Ga. Геохімія цього елемента вивчена погано, джерел надходження до ґрунту, крім як у складі природних мінералів, немає, але є свідчення про досить активне включення галію в процеси біогенезу [8]. Можливо, область гіперпростору, що маркується його променем, це також область інтерференції різних факторів і причин. У будь-якому разі його відносна близькість до променя заліза настановує на таку думку.

Із біплота 9-вимірного гіперпростору геохімічних факторів і причин вилучена група TR (рис. 2). Однак це не означає, що роль мінералогічної основи перестала маркуватися хімічними елементами, просто вона перейшла до слабших геохімічних маркерів цього фактора. Ми вважаємо, що статистично достеменним маркером літолого-мінералогічного чинника в 9-вимірному гіперпросторі виступає група Fe-Sr-Ga, причому Sr-Ga – чіткіше, ніж Fe. Останнє одночасно "змушено" відігравати і більш слабку роль індикатора окисно-відновних умов. Промені Ba-Rb і раніше маркували pH-умови з "акцентом" на гідролітичну кислотність, Zn-Cu – фактор біогенезу, а Pb – техногенного навантаження, головним чином, автотранспортного або "біохімічного" фактора за [5].

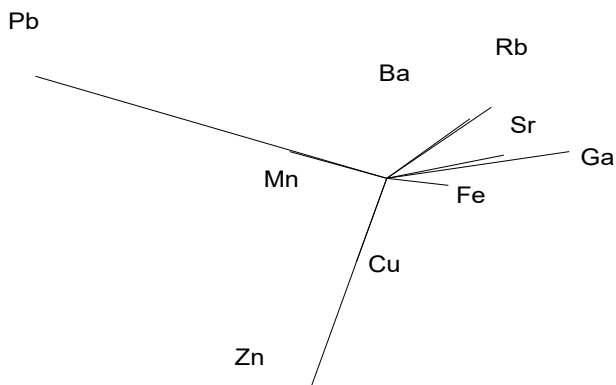


Рис. 2. Біплот 9-вимірного гіперпростору геохімічних факторів і причин, що визначають елементний склад ґрунтових проб, відібраних в околицях Ірпеня, Бучі, Ворзеля (Київська обл.)

Викликає питання поведінка марганцю. Здається, що він "приєднався" до свинцю і теж став типоморфним елементом автотранспортних викидів. Однак насправді він лише маскує свою геохімічну поведінку техногенною дією. Тут, насправді, ми маємо справу із спотворенням 9-вимірного простору при проектуванні на двовірну площину. Конфігурація променю Mn переважно радіальна, а променю Pb – тангенціальна, тому проекція першого майже точно падає на проекцію другого, створюючи тим самим ілюзію злиття променів. Насправді промінь Mn

значно більш незалежний (і, зауважимо, ближче до променю заліза), і маркує він те ж саме, що і в 12-вимірному гіперпросторі: Eh-умови ґрунту.

При вилученні Mn, Cu, Ga (рис. 3) біплот досить чітко розділюється на три області: область техногенезу (Pb), область біогенезу (Zn) та область природних абіогенних факторів (група Fe-Sr-Ba-Rb). Остання містить слабкові-докремлені підобласті – рН-умов (Ba-Rb, частково Sr), впливу мінералогічної основи (Sr, частково Fe) та Eh-умов (частково Fe).

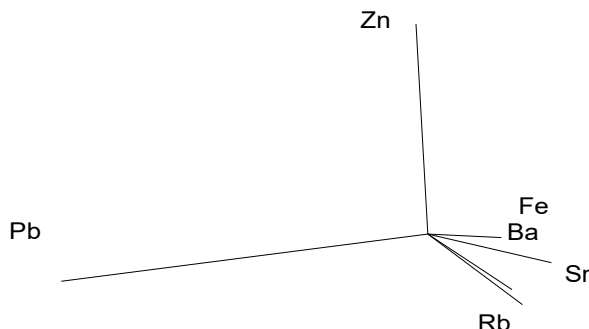


Рис. 3. Біплот 6-вимірного гіперпростору геохімічних факторів і причин, що визначають елементний склад ґрунтових проб, відібраних в околицях Ірпеня, Бучі, Ворзеля (Київська обл.)

При цьому перші дві області геохімічних факторів сильно індивідуалізовані (чітко окреслені в гіперпросторі), а остання – досить розмита, оскільки в ній враховуються другорядні, проміжні, часткові геохімічні ролі одних і тих самих хімічних елементів. Також з рис. 3 видно, що за силою відносного імовірнісного впливу на елементний склад ґрунтів обстеженої території (оцінюється за довжиною променів) геохімічні фактори в першому наближенні розташовуються в такому порядку: техногенез (переважно автотранспортні викиди) > природні біогенні процеси > природні абіогенні причини і процеси.

Кластеризація CoDa-даних. Нанесення точок, що відповідають CoDa-даним ґрунтових проб, на графіки біплотів, а також на трикутні діаграми дозволило простежити тенденції до кластеризації цих точок в областях дії геохімічних чинників і причин, що маркуються відповід-

ними хімічними елементами, визначеними у пробах. Емпірично точки пробовідбору попередньо групувалися за такими ознаками: а) автономні й підпорядковані елементарні геохімічні ландшафти; б) генетичні ґрунтові горизонти; в) формальні глибини відбору проби (інтервал у сантиметрах глибини).

Кластеризація за різновидом ЕГЛ. На рис. 4, а показано розміщення точок, відповідних CoDa-даними про вміст хімічних елементів у ґрунтових пробах (верхні 10 см), у площині біплоту 6-вимірного гіперпростору. Усі точки згруповані за автономним і підлеглим ЕГЛ. А на рис. 4, б показано той же розподіл у 3-вимірному просторі геохімічних факторів і причин, представлений класичною центрованою трикутною діаграмою. При цьому маркерами обрано найсильніші індикатори відповідних геохімічних чинників – La, Zn і Pb.

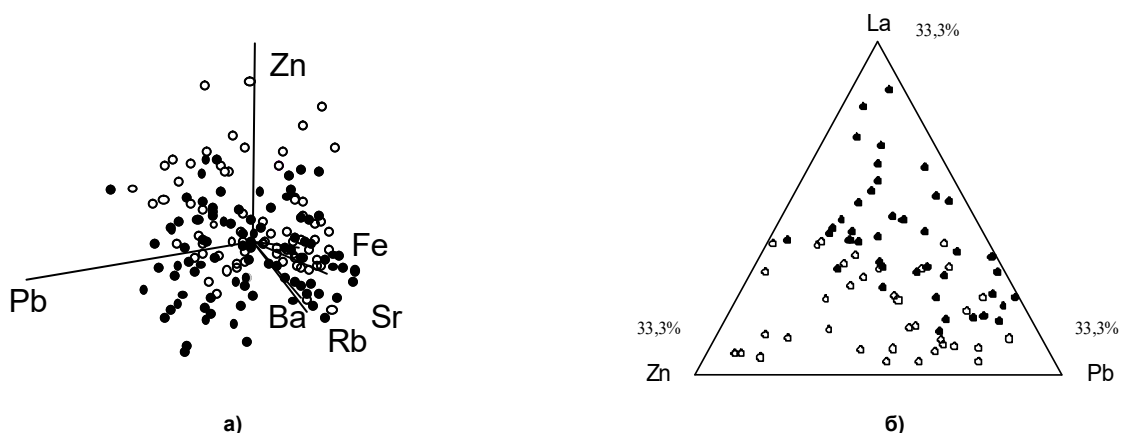


Рис. 4. Розміщення точок, відповідних CoDa-даними щодо вмісту хімічних елементів у ґрунтових пробах (0–10 см), які були відібрані в околицях Ірпеня, Бучі, Ворзеля (Київська обл.), згрупованих за автономними (чорні точки) і підлеглими (прозорі точки) ЕГЛ у площині біплоту 6-вимірного гіперпростору (а) та на центрованій трикутній діаграмі (La, Zn і Pb) геохімічних факторів і причин (б)

Для точок проб з автономних ландшафтів має місце тенденція групуватися між областями Fe-Sr-Ba-Rb (літо-

лого-мінералогічний фактор) і Pb (атмосферне забруднення). Те ж саме явище ще виразніше спостерігається і

на трикутній діаграмі. Для точок проб, відібраних у підлеглих ландшафтах, проглядається тенденція групуватися в областях Fe-Sr-Ba-Rb і Zn (біогенез), з одного боку, і Zn та Pb, – з іншого. Можна також зауважити, що на рис. 4, а точки проб з автономних ландшафтів краще групуються в області літолого-мінералогічного фактора, ніж точки з підпорядкованих ландшафтів, які тяжіють до підобласті Fe, в якій активніше проявляє себе фактор Eh-умов. Ще гірше вони групуються в "літологічний" області на рис. 4, б – у присутності лантану, дуже сильного маркера для літолого-мінералогічних чинників, але вельми незначного для Eh-умов.

Відомо, що топографічно-припідняті ділянки місцевості зазнають сильнішого впливу забруднених повітряних мас, що рухаються горизонтально у приземній атмосфері. Водночас ґрунтовий профіль елювіальних ландшафтів, приурочених до цих же підвищених, ділянок, зазвичай коротший від такого ж супераквальних ЕГЛ. Це означає, що ступінь участі вихідних ґрунтоутворювальних гірських порід у формуванні геохімічних особливостей ґрунтів підвищених автономних ЕГЛ буде вищим. То ж зрозумілим стає виявлений розподіл точок CoDa-даних проб: автономні ландшафти більш залежні від впливу атмосферного забруднення і мінералогічного складу вихідних ґрунтоутворювальних порід, ніж підпорядковані ЕГЛ.

Навпаки, процеси біогенезу обумовлюють зростання потужності гумусованих і оторфованих шарів ґрунтів у підлеглих ЕГЛ. Крім того, вони сприятливіші до процесів оглеювання та сильніше залежать від Eh-умов. Це виявилось в даному дослідженні у сильнішій залежності підпорядкованих ЕГЛ від процесів біогенної міграції речовини, а також від показників і динаміки Eh ґрунту.

У принципі, це відомі, емпірично встановлені факти з геохімії техногенезу та геохімії ґрунтів [4, 6, 12, 13] щодо розвитку процесів самоочищення від техногенного забруднення автономними ландшафтами і консервації й накопичення – акумулятивними. Але в даному випадку вони отримують математико-статистичне підтвердження.

Генетична кластеризація. Аналіз розподілів засвідчив, що в разі пробовідбору, "прив'язаного" по вертикалі до генетичних горизонтів, точки CoDa-даних проб з горизонту H_2 мають тенденцію групуватися в областях Zn (біогенез) і Pb (атмосферне забруднення), що виглядає цілком логічним. Точки CoDa-даних проб з горизонту Р чітко групуються в області TR і більш розпливчато в областях Fe і Ga, причину чого з вище викладеного матеріалу також не складно зрозуміти. Залізо, крім цього, виступає досить слабким, але помітним маркером групування точок, відібраних з горизонту I. Утворення цього горизонту, як відомо, пов'язано з осадженням складних оксидів, серед яких гідроксиди Fe – одні з найважливіших. Навпаки, цинк не виявляє жодних тенденцій до "збирання" точок CoDa-даних проб з горизонту I. Групування точок CoDa-даних проб з глейових горизонтів слабе, в основному його можна помітити в області Rb-Sr-Ba (лужно-кислотні умови), гірше – в області Mn і частково Fe (Eh-умови). Оскільки саме в глейових горизонтах спостерігається найбільш складна динаміка pH і Eh-умов, то таке групування точок, хоч і слабо виражене, виглядає логічним. Точки CoDa-даних проб з горизонтів H і E не виявляють тенденцій до жодної кластеризації. Щодо горизонту H, це може свідчити про високу різноманітність геохімічних процесів і умов, що мають місце в цьому горизонті, коли ґрунти не згруповані за ЕГЛ. Що ж стосується горизонту E, то відсутність тенденції до кластеризації точок CoDa-даних проб у нашому випадку свідчить швидше про відсутність у списку проаналізованих хімічних елементів повноцінного маркера тих геохімічних причин, які обумовлюють специфіку горизонту E. Визначай ми, зокрема, вміст Si, обов'язково точки згруппувалися б в маркований ним області, адже кремнеземиста присипка є типовою для елювіального горизонту.

Кластеризація за інтервалами глибин пробовідбору. Вивчення угруповань точок CoDa-даних проб, об'єднаних за формальним показником – інтервалами глибин відбору проби, без урахування її належності до генетичного горизонту, показало, що біля цинку і свинцю чітко групуються точки CoDa-даних проб із шарів 0–5 см і 5–10 см. Цей факт можна пояснити для свинцю добре відомим [10] фактом сильної абсорбції гумусовою речовиною тих його фракцій, які надходять на поверхню ґрунту з атмосферним забрудненням; а для цинку – найважливішою роллю цього хімічного елемента в процесах біогенезу, до яких належить гумусоутворення та гумусо-накопичення у верхніх 10 см ґрунту.

У шарах 10–15 см, 15–20 см, 20–30 см, 30–50 см тенденцій до якої б то не було кластеризації точок CoDa-даних ґрунтових проб по глибинних шарах не спостерігається. У цій ґрунтовій товщі має місце дуже велике розмаїття генетичних горизонтів і геохімічних процесів. Якщо ЕГЛ не групувати бодай за належністю до підвищень і понижень рельєфу, то це не дає можливість проявитися будь-яким "наскрізним" тенденціям до кластеризації точок CoDa-даних проб. Але, починаючи з 50 см, тенденція до кластеризації точок CoDa-даних знову з'являється і поступово посилюється з глибиною пробовідбору (групи 50–100 см і > 100 см). Вона обумовлена літолого-мінералогічним фактором, областю кластеризації виступає та область гіперпростору геохімічних факторів і причин, яка маркується променями рідкісноземельних елементів. З викладеного випливає такий цікавий висновок, який слід враховувати при організації пробовідбору, принаймні в районах, аналогічних за геохімічними умовами тому, що нами вивчався. В умовах території "субурбія Київського мегаполісу – південь Київського Полісся" хімічний склад проб ґрунтів, відібраних формально "пошарово" у діапазоні 10–50 см без прив'язки до генетичних ґрунтових горизонтів у загальному випадку може свідчити про які завгодно геохімічні процеси і феномени. Проби, відібрані до глибини 10 см, з високим ступенем імовірності свідчать про процеси атмосферного забруднення та особливості біогенезу в першому випадку та про вплив природної літогенно-мінералогічної основи – ґрунтоутворювальних порід – у другому. Це слід урахувати в разі здійснення відбору проб формально "пошарово" – без прив'язки до ґрунтових генетичних горизонтів. Така методика відбору ґрунтових проб усе ще широко застосовується, хоч в останні роки в геохімії ґрунтів усе більшого і більшого поширення набуває спосіб відбору проб ґрунтів із середніх ділянок кожного генетичного ґрунтового горизонту, що, очевидно, більш адекватно.

Висновки. Розроблена геостатистична модель "біплот" CoDa-даних у вигляді гіперпростору геохімічних факторів і причин із заданою розмірністю наочно продемонструвала швидкий спосіб розв'язку низки прикладних задач ґрунтознавства.

Геостатистичне вивчення умов розподілу хімічних елементів у ґрунтових горизонтах дозволяє відслідковувати імовірнісні (статистичні) показники маркування хімічними елементами дії тих чи інших геохімічних чинників і причин, що мають місце на досліджуваній території.

Геостатистичними параметрами, отриманими при моделюванні CoDa-даних щодо вмісту в ґрунтах La-Ce-Nd в 12-вимірному та Fe-Sr-Ga в 9-вимірному гіперпросторах, позначається область, в якій проявляє себе такий геохімічний фактор, як "вплив вихідного мінерального складу ґрунтоутворювальної породи". Область, що окреслюється відповідними геостатистичними параметрами Rb-Sr-Ba у 12-вимірному та Ba-Rb у 9-вимірному гіперпросторах, статистично "прив'язана" до кислотно-лужних умов у ґрунтах. Область марганцю в обох гіперпросторах і заліза в 6-вимірному маркує окисно-відновні умови в ґрунтах, при цьому Fe частково маркує і кислотно-лу-

жні умови, що пов'язані з Eh показником. Область Pb маркує фактор техногенезу, особливо його пірогенну складову, пов'язану з автотранспортними викидами. Область Zn-Cu пов'язана з дією і впливом, у першу чергу біогенних процесів гумусоутворення, гумусонакопичення, торфонакопичення (біогенез).

За силою відносного впливу на елементний склад верхнього (10 см) шару ґрунтів обстеженої території геохімічні фактори розташовуються в низхідній послідовності: техногенез > біогенез > вплив вихідної літогенної основи.

При аналізі моделі 6-мірного гіперпростору виявлено тенденцію до дискримінації точок різної ландшафтно-геохімічної підпорядкованості. Для точок проб з автономних ландшафтів має місце тенденція групуватися між областями, що маркуються Fe-Sr-Ba-Rb (літолого-мінералогічний чинник) і Pb (техногенез, насамперед атмосферне забруднення, спричинене автотранспортом). Для точок ґрунтового пробовідбору з підлеглих ландшафтів простежується тенденція групуватися в області, що маркуються Fe-Sr-Ba-Rb і Zn (біогенез) – з одного боку і Zn та Pb – з іншого.

Геохімічні чинники і причини виразніше виявляють себе при аналізі CoDa-даних проб, відібраних з прив'язкою до генетичних ґрунтових горизонтів, аніж таких, що були відібрані з прив'язкою до глибини взяття проби – суто формальної ознаки.

Список використаних джерел

- Белозерцева І.А. Техногенное воздействие на почвы урбанизированных территорий Сибири / И.А. Белозерцева, Д.Н. Лопатина // Фундаментальные исследования. Геогр. науки. – 2015. – № 2. – С. 5397–5403.
- Бузіна І. М. Дослідження стану ґрунтів в умовах установки техногенезу / І. М. Бузіна // Вісн. ЖНАЕУ. – 2012. – № 2. – Т. 1. – С. 232–241. (<http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/298>)
- Войціховська А.С. Поширення різних за рухомістю форм цинку в ґрунтах у зоні техногенезу сміттєзвалищ / А.С. Войціховська, В.В. Карабин, В.Д. Погребенник // Наук. праці ДонНТУ. Сер. гірничо-геологічна. – 2013. – Вип. 19(209). – С. 3–9.
- Войцицкий А.П. Техноэкология / А.П. Войцицкий, В.П. Дубровский, В.М. Боголюбов; за ред. В.М. Боголюбова. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 533 с.
- Геостатистика и география почв / отв. ред. П.В. Красильников. – М. : Наука, 2007. – 175 с.
- Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
- Ізюмова О.Г. Водно-фізичні властивості ґрунту в умовах техногенезу / О.Г. Ізюмова // Агрокол. журн. – 2013. – № 3 – С. 29–35.
- Імовірісно-автоматне моделювання в дослідженнях міграційних процесів у ґрунтах / О.А. Котовенко, О.Ю. Мірошніченко, Ю.О. Березницька та ін. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4/10 (70). – С. 37–43.
- Іованович Л. Влияние техногенеза на биосферу (на примере селена и ртути) / Л. Іованович, В. Єрмаков // Научни трудове на русенския университет. – 2010. – Т. 49, сер. 1, 2. – С. 114–119.
- Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 426 с.
- Карабин В.В. Форми знаходження міді у ґрунтах в зоні техногенезу сміттєзвалищ / В.В. Карабин, А.С. Войціховська, В.Д. Погребенник // Наукові праці Донец. техн. ун-ту. Сер. гірничо-геологічна. – 2012. – Вип. 16(206). – С. 193–198.
- Назаренко І.І. Ґрунтознавство / І.І. Назаренко, С.М. Польчина, В.А. Нікорич. – Чернівці : Книги–XXI, 2004. – 400 с.
- Степанова Л.П. Влияние техногенеза на геохимию и экологическую емкость ландшафта / Л.П. Степанова, Е.А. Коренькова. – Орел : Изд-во Орел. ГАУ, 2010. – 260 с.
- Тютюнник Ю.Г. Удельное электрическое сопротивление генетических горизонтов почв / Ю.Г. Тютюнник, И.И. Онищук, А.В. Шабатура // Почвоведение. – 2004. – № 2. – С. 209–213.
- Тютюнник Ю.Г. Математичне моделювання міграції та накопичення ^{40}K і ^{137}Cs у ґрунтах Ірпінсько-Бучацької рекреаційної зони / Ю.Г. Тютюнник, М.І. Толстой, О.В. Шабатура // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : тез. доп. IV Міжнар. наук. конф., Київ 9–11 жовт. 2003 р. – 2003. – С. 101–102.
- Aitchison J. Biplot of compositional data / J. Aitchison, M. Greenacre // Applied Statistics. – 2002. – Vol. 51. – P. 375–392.
- An Interdisciplinary and Synthetic Approach to Ecological Boundaries / M.L. Cadenasso, S.T.A. Pickett, K.C. Weathers et al. // BioScience. – 2003. – Vol. 53, 8. – P. 717–722.
- Cruz-Bello G.M. Coupling Spatial Multiattribute Analysis and Optimization to Identify Reforestation Priority Areas / G.M. Cruz-Bello, E.D. Sotelo-Ruiz // Mountain Research and Development. – 2013. – Vol. 33, 1 – P. 29–33.
- Española del estudio geoestadístico de composición química de suelos, de los indicadores de factores y de las condiciones geoquímicas: Report de Recerca / Head J.A. Martín-Fernández. – IMA 04-01-RR. – Girona : Universitat de Girona, 2004. – 50 p.
- Kim D. Identification and Visualization of Complex Spatial Pattern of Coastal Dune Soil Properties Using GIS-Based Terrain Analysis and Geostatistics / D. Kim, K. Bae Yu, P.S. Jin // Journal of Coastal Research. – 2008. – P. 50–60.
- Miroshnychenko M. Monitoring of urban soil contamination under various technogenic impact: Comparison of the two seaside cities / M. Miroshnychenko, I. Krivitska, Y. Hladkikh // Geophysical Research Abstracts. – Vol. 19, EGU2017. – 2007. – P. 323.
- Pawlowsky-Glahn V. Geostatistical Analysis of Compositional Data / V. Pawlowsky-Glahn, R.A. Olea. – Oxford: Oxford University Press, 2004. – 304 p.
- Technogenic soils of Poland / Edited by P. Charzyński, P. Hulisz, R. Bednarek // Polish Society of soil science. – Toruń, 2013. – 358 p.
- Tyutyunnik Yu. Electrical Resistivity of genetic soil horizons / Yu. Tyutyunnik, O. Shabatura // Eurasian Soil Sciences. – 2004. – Vol. 37, № 2. – P. 177–180.

References

- Belozertseva, I.A., Lopatina, D.N. (2015). Technogenic impact on soils of the urbanized territories of Siberia. *Fundamental research. Geographical sciences*, 2, 5397–5403. [In Russian].
- Buzina, I.M. (2012) Studies of soil in terms of technogenesis condition. *Proceedings ZhNAEU*, 2, 1, 232–241. (<http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/298>). [In Ukrainian].
- Voytsihovska, A.S., Karabyn, V.V., Pohrebennyk, V.D. (2013). Distribution of different forms of mobility zinc in soils in the area of technogenic dumps. *Proceedings of DonNTU. Series "Mining and Geology"*, 19 (209), 3–9. [In Ukrainian].
- Voytsytsky, A.P., Dubrovsky, V.P., Bogolyubov, V.M., Ed. Bogolyubov, V.M. (2009). *Technoecology*. K: Agricultural Education, 533 p. [In Ukrainian].
- Krasilnikov, P.V. (Ed.) (2007). *Geostatistics and geography of soils*. M.: Science, 175 p. [In Russian].
- Saet, Yu.E., Revych, B.A., Yanyin, E.P. et al. (1990). *Environmental geochemistry*. M.: Depths, 335 p. [In Russian].
- Izyumova, O.G. (2013) Water-physical properties of soil technogenesis. *Agroecological Journal*, 3, 29–35. [In Ukrainian].
- Kotovenko, A.A., Miroshnychenko, O.Yu., Bereznytska, Y.O., Shostal Yu.V. (2014). Probabilistic Automaton Modeling in studies of migration processes in soils. *East Europe Journal Advanced Technology*, 4/10 (70), 37–43. [In Ukrainian].
- Jovanovic, L., Ermakov, V. (2010). Influence of the technogenesis upon biosphere (for example of mercury and selenium). *Scientific Labor Rusenskyya at University*, 49, 1, 2, 114–119. [In Russian].
- Kabata-Pendyas, A., Pendyas, H. (1989). *Microelements in soils and plants*: M. World, 426 p. [In Russian].
- Karabyn, V.V., Voytsihovska, A.S., Pohrebennyk, V.D. (2012). The forms of copper bedding in dump soils of the man-caused area. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: Himycholeoholichna*, 16 (206), 193–198. [In Ukrainian].
- Nazarenko, I.I., Polchyna, S.M., Nikorych, V.A. (2004). *Soil*. Chernivtsi: Books – XXI, 400 p. [In Ukrainian].
- Stepanova, L.P., Korenkova, E.A. (2010). The influence of technogenesis on the geochemistry and ecological capacity of the landscape. *Orel: Publishing house Orel. SAU*, 260 p. [In Russian].
- Tyutyunnik, Yu.H., Onyshchuk, I.I., Shabatura, A.V. (2004). Electrical resistivity of genetic soil horizons. *Soil Science*, 2, 209–213. [In Russian].
- Tyutyunnik, Yu.H., Tolstoy, M.I., Shabatura, O.V. (2003). Mathmodeling of migration and accumulation of ^{40}K i ^{137}Sr in soils of Irpin-Bucha-Vorzel recreation zone. *Abstract of IV International science conference "Monitoring dangerous geologic processes and ecological state of environmental"*. K.: Kiev University, 101–102. [In Ukrainian].
- Aitchison, J., Greenacre, M. (2002). Biplot of compositional data. *Applied Statistics*, 5, 375–392.
- Cadenasso, M.L., Pickett, S.T.A., Weathers, K.C. et al. (2003). An Interdisciplinary and Synthetic Approach to Ecological Boundaries. *BioScience*, 53, 8, 717–722. (doi: 10.1641/0006-3568(2003)053[0717:AIASAT]2.0.CO;2).
- Cruz-Bello, G.M., Sotelo-Ruiz, E.D. (2013). Coupling Spatial Multiattribute Analysis and Optimization to Identify Reforestation Priority Areas. *Mountain Research and Development*, 33, 1, 29–33. (doi: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-12-00085.1).
- Martín-Fernández, J.A., Daunis-i-Estadella, J., Tyutyunnik, Y.G. (2004). Esperencia del estudio geoestadístico 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.
- Kim, D., Bae, Yu. K., Jin, P.S. (2008) Identification and Visualization of Complex Spatial Pattern of Coastal Dune Soil Properties Using GIS-Based Terrain Analysis and Geostatistics. *Journal of Coastal Research*, 50–60. (doi: 10.2112/06-0721.1).
- Miroshnychenko, M., Krivitska, I., Hladkikh, Y. (2017). Monitoring of urban soil contamination under various technogenic impact: Comparison of the two seaside cities. *Geophysical Research Abstracts*, 19, EGU2017, 323.
- Pawlowsky-Glahn, V., Olea, R. A. (2004). *Geostatistical Analysis of Compositional Data*. Oxford: Oxford University Press, 304 p.
- Charzyński, P. (ed.), Hulisz, P., Bednarek, R. (2013). *Technogenic soils of Poland*. Polish Society of soil science. Toruń, 358 p.
- Tyutyunnik, Yu., Shabatura, O. (2004). Electrical Resistivity of genetic soil horizons. *Eurasian Soil Sciences*, 37, 2, 177–180.

Yu. Tyutyunnik, Dr.Sci (Geograf.), Prof., Leading Researcher
E-mail: carme1@mail.ru
Institute for Evolutionary Ecology NAS Ukraine, Department of Dendrology and Park Learning
37, Lebedeva Str., Kiev, 03143, Ukraine,
O. Shabaturova, Cand.Sci (Geol.), Senior Researcher
E-mail: sand@univ.kiev.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,
J. Daunis-i-Estadella, Dr., Assoc. Prof.
E-mail: pepus.daunis@udg.edu
University of Girona, Department of informatics, applied mathematics nah mathstatistics
Campus Montelivi, E-17071a, Girona, Spain

GEOSTATISTICAL STUDY OF LATERAL AND RADIAL DISTRIBUTION OF CONCENTRATIONS OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE SOIL OF MODERATE TECHNOGENESIS ZONE (on example of Kyiv suburbia)

Average concentrations of chemical elements in the soil depends on the action of natural and techogenic factors and are characterized by different regularities of migration and accumulation in the lateral and radial directions. Study of concentrations of chemical elements in soils of different elementary geochemical landscapes makes it possible to identify some of the important statistically significant regularities of distribution of chemical elements on the territory of Irpin-Bucha-Vorzel of Kyiv suburban area. The analysis of 190 samples from 36 full-profile soil profiles formed the basis of compositional data (CoDa). CoDa is vector product of the measured values of concentrations of chemical elements in each sample of soil. Geostatistical model biplot of CoDa is a hyperspace of geochemical factors and reasons with dimension corresponding to the amount determined in samples of chemical elements. Projection of hyperspace on the plane with "star" biplot especially together with projection of sampling points can demonstrate the probabilities of indicators of action of various geochemical factors and causes that occur in the study area. Clustering of sampling points occurs in a possible impact of certain factors on the group geochemical samples. The geostatistical parameters obtained by modeling SoDa in La-Ce-Nd 12-dimensional and Fe-Sr-Ga 9-dimensional hyperspaces mark an area of geochemical factor "influence of initial mineral composition of rocks". The area is defined by relevant geostatistical parameters Rb-Sr-Ba in 12-dimensional and Ba-R in 9-dimensional hyperspaces statistically "linked" to the acid-alkaline conditions in soils. Manganese area in the mentioned above area and 6-dimensional hyperspace of Fe mark the oxidation-reduction conditions in soils. Area of Pb suggests to determine a pyrogenic component of technogenic influence associated with vehicle emissions. Zn-Cu area is associated with impact of biogenic processes. Relative impact geochemical factors on the elemental composition of the upper (10 cm) layer of soil geochemical factors surveyed area are ranged in row: technogenesis > biogenesis > effect of initial lithogenic basis. The analysis of 6-dimensional hyperspace gave general trend to group between areas that are marked Fe-Sr-Ba-Rb (lithological and mineralogical factor) and Pb (technogenesis, especially atmospheric pollution caused by road). For soil sampling points of the subordinate landscapes there is a tendency to highlight grouped areas marked Fe-Sr-Ba-Rb, Zn and Zn, Pb. Geochemical factors and reasons most clearly effect in the analysis SoDa samples taken with reference to the genetic soil horizons than those selected from formal deep layer.

Keywords: biplot, hyperspace geochemical factors and causes, compositional data, technogenesis, biogenesis, lithological and mineralogical factor.

Ю. Тютюнник, д-р геогр. наук, проф., вед. науч. сотр.
E-mail: carme1@mail.ru
Институт эволюционной экологии НАН Украины, Отдел дендрологии и парковедения
ул. Акад. Лебедева, 37, г. Киев, 03143, Украина,
А. Шабатура, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.
E-mail: sand@univ.kiev.ua
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,
Х. Даунис-и-Естаделья, д-р наук, доц.
E-mail: pepus.daunis@udg.edu
Университет Жироны, Отделение информатики, прикладной математики и математической статистики
Кампус Монтеливи Е-17071а, г. Жирона, Испания

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЛАТЕРАЛЬНОГО И РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ЗОН УМЕРЕННОГО ТЕХНОГЕНЕЗА (на примере субурбии киевского мегаполиса)

Распределение концентраций химических элементов в почвенном покрове зависит от действия природных и техногенных факторов и характеризуется различными закономерностями миграции и накопления в латеральном и радиальном направлениях. Изучение концентраций химических элементов в почвах различных элементарных геохимических ландшафтов позволило определить важнейшие статистически-значимые закономерности распределения химических элементов на территории Ирпень-Буча-Ворзельской субурбии Киевского мегаполиса. Результаты анализа 190 проб из 36 полных почвенных профилей легли в основу базы составленных данных (CoDa-данные), полученных векторным произведением всех измеренных величин концентраций химических элементов в каждой пробе почвы. Геостатистическая модель "биplot" CoDa-данных представляет собой гиперпространство геохимических факторов и причин с размерностью, соответствующей количеству определенных в пробах химических элементов. Проекция этого гиперпространства на плоскость в виде "звезды" биплота, с одновременным нанесением на плоскость проекции точек пробоотбора, дает возможность наглядно отслеживать вероятностные (статистические) показатели маркировки химическими элементами действия тех или иных геохимических факторов и причин, имеющих место на исследуемой территории. Кластеризация точек пробоотбора происходит в областях более вероятного воздействия на соответствующую группу проб геохимических факторов. Установлено, что геостатистическими параметрами, полученными при моделировании CoDa-данных по содержанию в почвах La-Ce-Nd в 12-мерном гиперпространстве и Fe-Sr-Ga – в 9-мерном, обозначается область в которой проявляется себя такой геохимический фактор, как "влияние выходного минерального состава почвообразующей породы". Область определяемая параметрами Rb-Sr-Ba в 12-мерном гиперпространстве и Ba-Rb в 9-мерном, статистически "привязана" к кислотно-щелочным условиям почв. Область марганца в обоих гиперпространствах и железа в 6-мерном, маркирует окислительно-восстановительные условия почв. При этом Fe частично маркирует и кислотно-щелочные условия, с которыми связан показатель Eh. Область Pb маркирует техногенез, особенно его пирогенную составляющую, связанную с автотранспортными выбросами. Область Zn-Cu связана с действием и влиянием, в первую очередь, биогенных процессов гумусообразования, гумусо- и торфонакопления (биогенез). По силе относительного влияния на элементный состав верхнего (10 см) слоя почвы исследованной территории геохимические факторы располагаются в таком ряду: техногенез > биогенез > влияние исходной литогенной основы. При анализе модели 6-мерного гиперпространства выявлена общая тенденция для точек проб из автономных ландшафтов, а именно, группироваться между областями, которые маркируются Fe-Sr-Ba-Rb (литолого-минералогический фактор) и Pb (техногенез, прежде всего атмосферное загрязнение, вызванное автотранспортом). Для точек почвенного пробоотбора из подчиненных ландшафтов просматривается тенденция группироваться в областях, которые маркируются Fe-Sr-Ba-Rb и Zn (биогенез) – с одной стороны, и Zn и Pb – с другой. Геохимические факторы и причины отчетливее проявляют себя при анализе CoDa-данных проб, отобранных с привязкой к генетическим грунтовым горизонтам, чем тех, которые были отобраны с привязкой к глубинам отбора пробы - чисто формального признака.

Ключевые слова: биплот, гиперпространство геохимических факторов и причин, составленные данные, техногенез, биогенез, литолого-минералогический фактор.