

УДК 504.3.054:(631.11+65.011.55)(477.64)

Є. Наседкін, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.,

E-mail: nasedevg@ukr.net,

Г. Іванова, канд. геол. наук, наук. співроб.,

E-mail: a\_1207@ukr.net,

С. Стадніченко, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.,

E-mail: stadnik\_sm@ukr.net

Інститут геологічних наук НАН України,

вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна

О. Андрєєв, канд. геол.-мінералог. наук, старш. наук. співроб.,

E-mail: andreev@univ.kiev.ua

В. Морозенко, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.,

E-mail: vmorozenko@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

## ЩОДО АНТРОПОГЕННОЇ СКЛАДОВОЇ РЕЧОВИНИ АТМОСФЕРНОГО АЕРОЗОЛЮ м. ЗАПОРІЖЖЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук О.І. Меньшовим)

Присвячено дослідженням впливу техногенних процесів на навколишнє середовище, зокрема, визначенню внеску речовини, що утворилась у процесі господарської діяльності, у загальний склад твердої компоненти атмосферного аерозолі. Фактичний матеріал було отримано на основі системного моніторингу приземних повітряних потоків у межах такого потужного індустріального осередку, як м. Запоріжжя. Відбір накопичених на фільтрувальній тканині проб завислої атмосферної речовини проводився щомісячно протягом двох років. Паралельні безперервні спостереження за гідрометеорологічними факторами (швидкості, напрямки, тривалість вітрів, кількість опадів) забезпечили комплексний підхід до опрацювання та узагальнення результатів досліджень. Натурні спостереження та лабораторні дослідження визначили ряд закономірностей розподілу седиментаційної речовини у повітрі, взаємозв'язків її антропогенної і природної складових. У публікації розглянуто особливості хімічного складу та морфології уламкових частинок, надходження яких у повітря зумовили техногенні процеси, а також конденсаційної складової еолової зависі, походження якої пов'язане з високотемпературними процесами. Досліджено зміни у співвідношенні природна / антропогенна частка у речовинному складі аерозолі під впливом зовнішніх природних та антропогенних факторів. Це позначається, між іншим, перерозподілом кількісних співвідношень між конденсованою та диспергованою складовими еолової зависі. При цьому уламкова складова може сягати алевритової розмірності, вміст заліза перевищувати 90 %, а частка домішок ряду чорних та важких металів, зокрема титану, марганцю, нікелю, міді, свинцю, цинку, сягати 40 % і більше. Важкі метали також зустрічаються у вигляді окремих уламкових та конденсаційних утворень, де їх вміст коливається у діапазоні 50–70 %. Аналіз конденсаційної складової у пробах аерозолі за період досліджень дозволило надати їй загальну характеристику та провести попередню класифікацію за хімічним складом. Також окреслено можливість визначення осередків забруднення атмосферного середовища за формою, хімічним складом та розміром аерозолів, сезонними факторами та характеристиками атмосферних потоків. Дослідження засвідчили доцільність уточнення параметрів чинних нормативів системи екологічного контролю якості повітря з урахуванням низки виявлених закономірностей. Окреслюючи перспективу подальших досліджень, зазначено необхідність комплексного підходу до визначення кількісних та якісних показників антропогенної компоненти атмосферного аерозолі в повітрі Запоріжжя, що сприятиме результативності наукового пошуку.

**Ключові слова:** атмосферний аерозоль, моніторинг, важкі метали.

**Постановка проблеми.** Одним з актуальних питань у сфері досліджень особливостей впливу техногенних процесів на компоненти навколишнього середовища є визначення внеску речовини, що утворилась у процесі господарської діяльності, у загальний склад твердої компоненти атмосферного аерозолі. Суттєве значення таким дослідженням додають місце та умови їх проведення, зокрема, якщо вони тривають у межах потужних урбанізованих чи індустріальних осередків, де проблема істотно забруднення повітря промисловими видами загрожується високою щільністю населення.

Як відомо, головними стаціонарними антропогенними джерелами викидів у атмосферу є об'єкти теплоенергетики та металургії, хімічні, нафтопереробні й машинобудівні підприємства, збагачувальні фабрики та кар'єри. Зважаючи на широкий спектр технологічних процесів, які призводять до утворення аерозольної речовини, вивчення цього об'єкта має охоплювати його хімічний склад і просторово-часовий розподіл, вміст мінеральних компонентів, їх морфології та гранулометричний склад тощо. Актуальними також є дослідження зв'язку якісних та кількісних характеристик повітряної зависі з гідрометеорологічними факторами – інтенсивністю вітрів, їх напрямками, опадами, фенологічними явищами.

**Аналіз попередніх досліджень.** Загалом, науковому пошуку за різними аспектами окресленої проблеми приділяється значна увага у світі, про що свідчить суттєва кількість публікацій у вітчизняних та закордонних літературних джерелах (Меньшов, 2014; Bondar et al.,

2017; Shu et al., 2001; Zhou et al., 2014). Слід також зазначити, що спектр методів вивчення речовини атмосферних потоків постійно збільшується, сьогодні у світі і в Україні інтенсивно розвиваються експресні та ефективні геофізичні методи досліджень як конденсованої, так і диспергованої складових аерозолей. Зокрема, показники магнітної сприйнятливості та її частотної залежності ( $\chi, \chi_{rel}$ ) вважаються важливими індикаторами рівня накопичення в еоловій складовій техногенної речовини, у т. ч. продуктів високотемпературних процесів металургійних виробництв.

Аналіз літератури вказує також на те, що одним із сучасних актуальних напрямів досліджень є вивчення дрібнодисперсної складової еолової зависі, що зумовлено рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я. Як відомо, фіброгенна дія атмосферної зависі на організм людини визначається не тільки концентрацією пилу в повітрі, але й гранулометричним складом завислих частинок. Науково доведено тісне кількісне співвідношення між впливом високих концентрацій еолової зависі розмірністю менше 10 мікрон у приземному повітрі житлової забудови і підвищенням смертності та захворюваності населення. Хронічний вплив цих часток, що мають здатність надходити через легеневі мембрани і вносити токсичні речовини безпосередньо у кровеносну систему, визначає розвиток серцево-судинних і респіраторних захворювань, а також хронічної обструктивної хвороби та раку легенів. Відповідно, у світовій практиці ступінь забруднення повітря зваженими частками вимі-

рюється по двох індикаторах – PM10 та PM2,5, що визначаються як середня за певний проміжок часу масова концентрація (мкг/м<sup>3</sup>) часток з діаметром до 10 мікрметрів (PM10) та, відповідно, 2,5 мкм (PM2,5).

На сьогодні у нашій державі існує усталена система контролю за забрудненням повітря, що включає дослідження відповідності стандартам якості повітря, визначення негативного впливу забруднення атмосфери на здоров'я населення і навколишнє середовище та відповідні прогностичні оцінки. Державною гідрометеорологічною службою здійснюються спостереження за забрудненням атмосферного повітря у більш ніж півсотні міст України на стаціонарних та маршрутних постах та станціях. Державна екологічна інспекція здійснює також вибірковий відбір проб у межах джерел викидів. Санітарно-епідеміологічна служба проводить спостереження за якістю атмосферного повітря у житловій та рекреаційній зонах, поблизу основних доріг та санітарно-захисних зон. Результати натурних спостережень атмосферного повітря включають суттєвий масив інформації, що дозволяє оцінити рівні та ступінь небезпечності забруднення для довкілля та здоров'я населення.

Моніторинг процесів пересування та акумуляції повітряної зависі є важливою ланкою робіт, що проводяться Інститутом геологічних наук НАН України у рамках реалізації проекту з проведення багаторічних безперервних натурних спостережень за якісними та кількісними показниками седиментаційної речовини у складі атмосферних та водних потоків у межах м. Запоріжжя. Комплекс аналітичних досліджень, що на технічно досяжному рівні відображає особливості взаємозв'язків компонентів досліджуваного середовища, включає щомісячні спостереження за кількісними змінами у складі річкової зависі та атмосферного аерозолі, проведення мінералогічного та гранулометричного аналізу сухих проб ґрунтів суходолу, донних відкладів, річкової зависі та атмосферного аерозолі (*Митропольський та ін., 2016*). Такі спостереження, порівняно зі складовими державної системи контролю якості повітря, дозволяють отримувати на постійній основі зразки атмосферної речовини у кількостях, достатніх для низки додаткових досліджень, зокрема на електронному мікроскопі, седиментографі, енергодисперсійному спектрометрі. Комплексність досліджень, у свою чергу, дозволяє

аналізувати зміни якісних та кількісних характеристик еолової зависі залежно від ряду додаткових факторів.

На сьогодні отримані результати натурних спостережень та лабораторних досліджень за майже дворічний період наповнюють базу даних відповідними інформаційними рядами, також проведено попередню статистичну обробку інформації. Аналіз накопичених матеріалів, між іншим, дав можливість попередньо визначити ряд законмірностей розподілу седиментаційної речовини у складі атмосферних потоків, взаємозв'язку її антропогенної і природної складових, їх морфологію та хімічний склад.

**Матеріали і методи досліджень.** Система моніторингу стану завислої атмосферної речовини представлена пасткою для відбору атмосферного аерозолі ("вітрило" з двома шарами фільтру), щомісячне вилучення речовини з якої дає можливість вивчати процеси розподілу частинок у приземному атмосферному середовищі за певні проміжки часу протягом року. Цей тип устаткування, апробований протягом тривалої експлуатації в умовах морського узбережжя, зарекомендував себе надійним інструментом відбору натурної речовини з атмосферних потоків (рис. 1) (*Наседкін, 2017*). Вилучення зразків із пасток раз на місяць створює умови "накопичення" аерозолі за певний час. Паралельні безперервні спостереження за гідрометеорологічними факторами (швидкості, напрямки, тривалість вітрів, опади) забезпечують системний підхід до накопичення, збереження та опрацювання результатів комплексних спостережень, їх подальшого наукового аналізу і узагальнень.

Лабораторні дослідження отриманого натурального матеріалу включають визначення в ньому низки мікроелементів рентген-флуоресцентним методом (лабораторія ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка), дослідження хімічного макро- і мікрокомпонентного складу за допомогою енергодисперсійного спектрометра на базі скануючого електронного мікроскопа, аналіз гранулометричного складу проб (лабораторія фізичних методів досліджень Інституту геологічних наук НАН України). Визначений комплекс лабораторних досліджень дає можливість відокремити і дослідити перебіг седиментаційних процесів за певні часові проміжки, що зумовлюються різними зовнішніми факторами впливу, а також визначити якісні та кількісні характеристики осадової речовини.

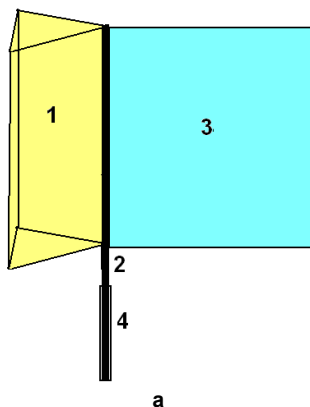


Рис. 1. Пастка для відбору атмосферного аерозолі:

а) схема конструкції пастки для атмосферного аерозолі: 1) робоча частина пастки – каркас-трикутник, обтягнутий двома шарами фільтрувальної сітки різної щільності, 2) штанга, що вільно обертається на осі, 3) флюгер-стабілізатор, що утримує пастку проти вітру, 4) станина-кріплення; б) пастка для відбору атмосферного аерозолі на причалі Державної установи "Науковий гідрофізичний центр НАН України", м. Запоріжжя

**Результати та обговорення.** У контексті визначення внеску господарської діяльності у формування складу атмосферного аерозолі, дослідження засвідчили умовність поділу речовини, завислої у приземному атмосферному

повітрі району досліджень, за типами джерел надходження на природну та антропогенну. Це пов'язано з тим, що утворення еолової зависі можливе з натурної речовини одного складу під впливом різних причин –

вітрової активності чи різноманітних технологічних процесів у межах території промислових виробництв. Більш доцільним може бути розподіл складових атмосферного аерозолю на типову для природних умов району досліджень та привнесену (чи утворену) під впливом господарської діяльності людини. Така класифікація передбачає виявлення природного складу еолової зависи, що також є відносно умовним показником. Аналіз результатів наших досліджень засвідчив, що найбільш об'єктивними показниками природної та антропогенної часток можуть розглядатись лише біогенна складова (пилкок, фрагменти рослин, спори і т. д.) та, відповідно, продукти викидів у процесі застосування промислових високотемпературних технологій, представлені сферичними утвореннями. На жаль, обидві складові не є домінуючими у складі натурної речовини атмосферних потоків.

Склад та характеристики антропогенної частки атмосферної речовини у межах Запоріжжя пов'язані, у першу чергу, з промисловим сегментом міста. Чорна металургія, феросплавне виробництво, коксохімічна промисловість, кольорова металургія – основні антропогенні "донори" атмосферних потоків. Значна частина утвореного промисловою аерозоллю – змішаного походження, тобто складається з частинок переведеної у завислий стан складової поверхні місцевих ґрунтів, привнесених у ході промислових процесів фрагментів руди, вугілля, а також, відповідно, продуктів їх переробки та спалювання.

Одним із показників змін у співвідношенні природна / антропогенна частка у речовинному складі аерозолю може бути сезонний взаємозв'язок із зовнішніми природними факторами, що визначатиметься перерозподілом кількісних співвідношень між конденсованою та диспергованою частинами еолової зависи. При цьому аерозолі дезінтеграції мають бути прив'язані до природних процесів вивітрювання гірських порід та переведу їх атмосферними збуреннями з поверхні ґрунтів у завислий стан, а також різноманітних антропогенних технологічних процесів подрібнення твердих речовин. Аерозолі конденсації, у свою чергу, утворюються внаслідок високотемпературних процесів, у т. ч. при конденсації випаровувань за участі металоїдів, металів та їх сполук при плавленні, електричному зварюванні і газовому різанні металів. Таким чином, антропогенна складова атмосферного аерозолю буде представлена обома генетичними типами частинок, при цьому її надходження у повітря буде визначатись передусім виробничими процесами. Природні фактори, головним чином, матимуть на них вплив вже у процесі розподілу в повітрі (тривалість пе-

ребування в атмосфері, дальність та швидкість переносу). Одночасно факторами, що мають найбільший вплив на збагачення еолової зависи аерозолями дезінтеграції для району досліджень, будуть сила та тривалість вітрів і інтенсивність опадів. Останнє було засвідчено результатами наших досліджень – у періоди послаблення природних процесів надходження речовини в атмосферне середовище відбувалися зміни у розподілі конденсаційної та диспергаційної складових у відібраних зразках еолової зависи (Насєдкін та ін., 2013).

Як зазначалось, речовинно-генетичний склад аерозолей диспергації (дезінтеграції) у приземному повітрі залежить від природних процесів вивітрювання типових для району гірських порід денної поверхні ґрунтів та переведу їх атмосферними збуреннями у завислий стан, а також різноманітних антропогенних технологічних процесів подрібнення твердих речовин, як привнесених, так і типових для району досліджень. Відповідно, розподіл компонентів цієї категорії еолової зависи на типову для літосферного середовища району досліджень та привнесену (пов'язану з техногенними процесами) можливий на основі вивчення речовини, що складає денну поверхню ґрунтів території Запоріжжя.

Попередні дослідження поверхневого шару ґрунтів території досліджень засвідчили, що основною їх компонентою є зерна кварцу, польових шпатів та їх уламки, а також змішаношаруваті утворення хлорит-іллїт-монтморилоніту, тобто уламкова та дрібнодисперсна складова продуктів вивітрювання гірських порід. При цьому, безумовно, необхідно враховувати факт привнесення у поверхневі ґрунти зазначеної території нетипових речовин у процесі активної господарської (промислової) діяльності на протязі багатьох десятиліть.

Одночасно мінеральний склад уламкової складової зразків еолової речовини звертає на себе увагу насамперед наявністю суттєвої кількості частинок металів та їх оксидів, зокрема заліза (рис. 2).

При цьому уламкова складова може сягати алевритової розмірності, а вміст заліза перевищувати 90 %. Уламковій складовій, представленій оксидом заліза, властиві мікродомішки ряду чорних та важких металів, зокрема титану, марганцю, нікелю, міді, свинцю, цинку. Важкі метали також зустрічаються у вигляді окремих утворень, де їх вміст може перевищувати 50 %, а за представленню нами класифікацією їх можна віднести як до уламкових, так і конденсаційних утворень. Це стосується також і вмісту деяких благородних металів, зокрема золота (рис. 3).

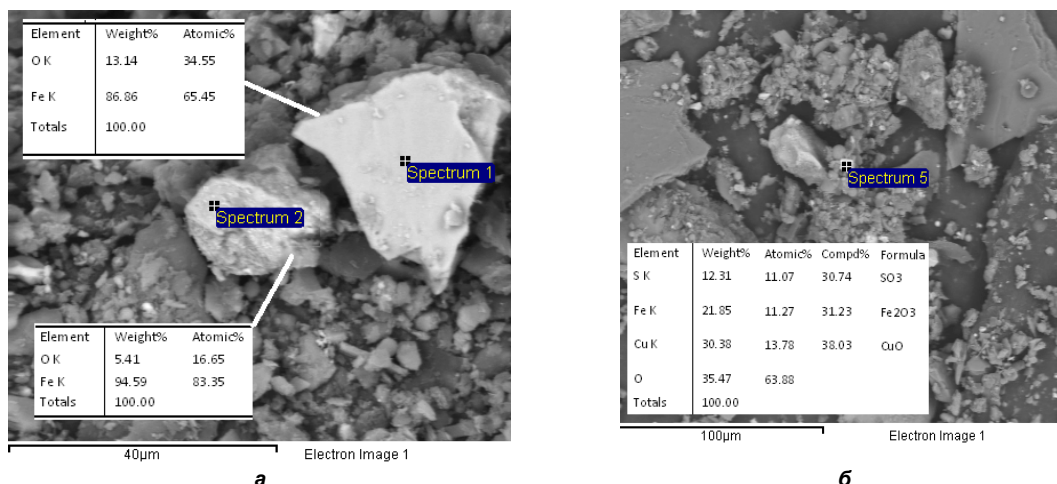


Рис. 2. Електронномікроскопічні знімки:

- а) уламкові фрагменти оксиду заліза, де вміст Fe > 90 % (період відбору речовини: червень-липень 2017 р.);  
 б) аерозольна частинка із вмістом міді > 30 % (період відбору речовини: серпень-вересень 2015 р.)

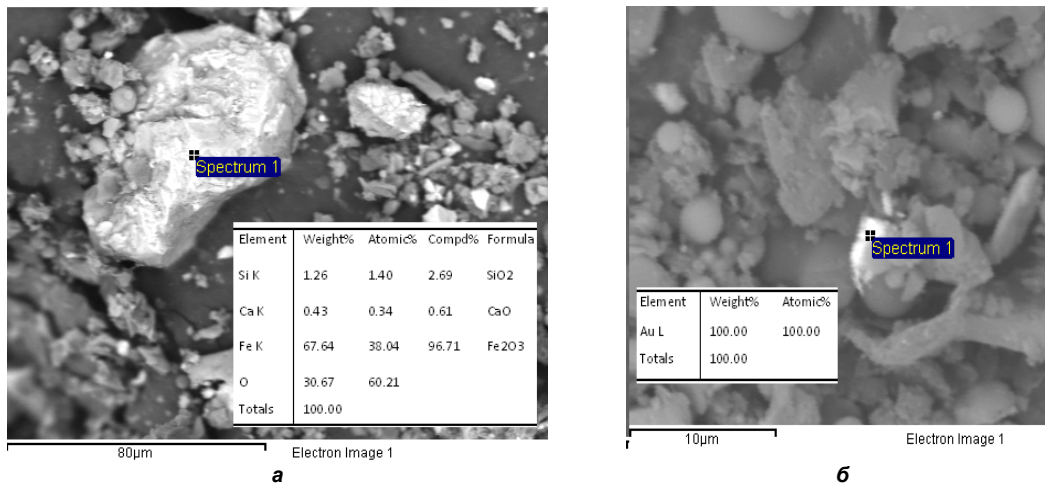


Рис. 3. Електронномікроскопічні знімки:

а) уламковий фрагмент оксиду заліза в еоловій завесі періоду відбору березень-травень 2016 р., що перевищує 0,08 мм;  
 б) золото у складі аерозольної частинки (грудень – січень 2015–2016 рр.)

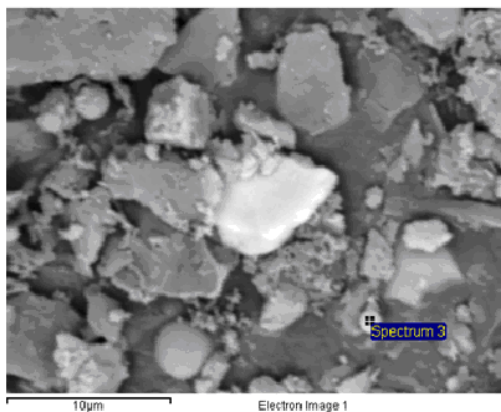


Рис. 4. Електронномікроскопічний знімок фрагменту проби за червень-липень 2016 р. та таблиця хімічного складу сферули (позначена на знімку)

Аерозолі конденсації, як зазначалось, значною мірою утворюються внаслідок високотемпературних процесів та за своїми розмірами значно менші за аерозолі дезінтеграції і складаються з окремих частинок правильної кристалічної або кулястої форми. Аналіз конденсаційної складової у пробах аерозолу за період досліджень дозволив надати їх загальну характеристику та виявити певні особливості (рис. 4). По-перше, слід зазначити, що мінеральний склад більшості досліджуваних сферул (60–70 %) представлено алюмосилікатами з домішкою заліза та ряду хімічних елементів, а також у ряді проб – мікродомішками важких металів (здебільшого цинку та міді).

Розмір цієї компоненти еолової завесі у середньому становить 5–20 мкм, але окремі сферули сягають розміру 50 мкм.

Вважається (*Ценосфера, н.д.*), що утворення порожнистих алюмосилікатних кульок (ценосфер) головним чином відбувається в топках за високотемпературного факельного спалювання вугілля на ТЕС та ГРЕС. Під час згорання тонкоподрібнених частинок вугілля домішки оксиду алюмінію, кремнію та інших елементів, присутніх у природному вугіллі, при високій температурі утворюють складні силікати, що приймають у розплавленому стані сферичну форму (рис. 5).

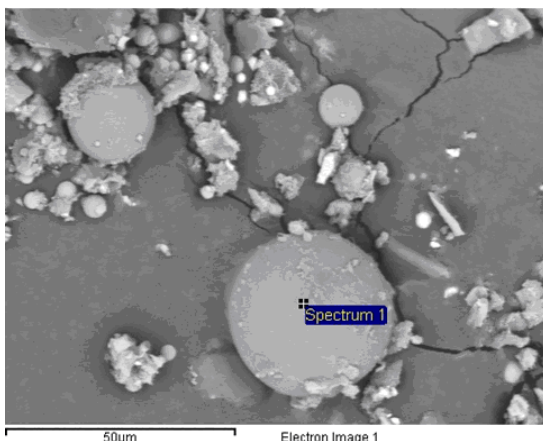


Рис. 5. Електронномікроскопічний знімок фрагменту проби за листопад-грудень 2016 р. та таблиця хімічного складу сферули (позначена на знімку)



За рахунок розчинених у силікатах газів відбувається роздування сферичних мікрокрапель у найдрібніші бульбашки – мікросфери, діаметр яких може сягати 500 нм. При цьому вони мають форму, близьку до сферичної і гладку зовнішню поверхню. Газова фаза, законсервована усередині мікросфер, складається в основному з азоту, кисню і оксиду вуглецю.

Друга група аерозолів конденсації представлена сферулами, основною складовою яких є оксид заліза. Розмір цих утворень помітно менший за алюмо-

силікатні ценосфери, і становить у середньому 3–10 мкм. При вмісті у конденсаційній складовій, що не перевищує 35–40 %, ці компоненти значно частіше, ніж алюмосилікатні утворення, мають у домішках важкі метали (мідь та цинк) (рис. 6).

Окрім різниці у розмірах, кульки, представлені оксидом заліза у відібраних пробах аерозолі, не завжди мають правильну форму та гладку поверхню, чим візуально відрізняються від алюмосилікатних сферул (рис. 7).

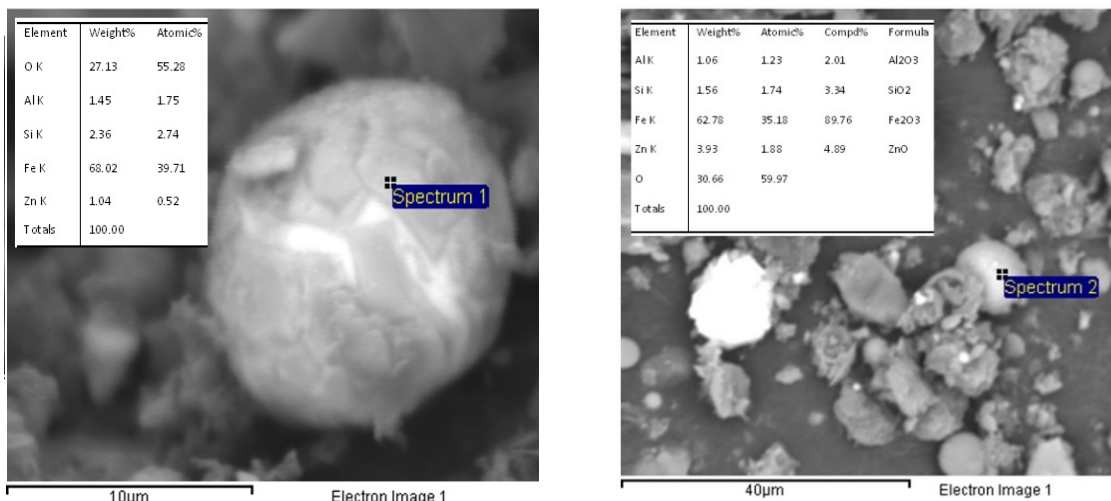
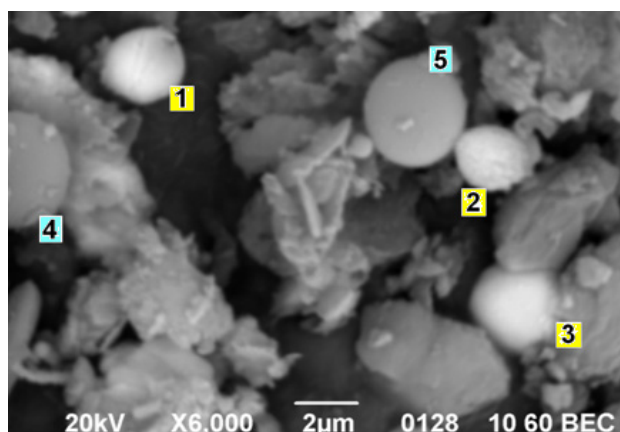


Рис. 6. Електронномікроскопічний знімок фрагменту проби за січень-лютий та червень 2016 р.



1		
Element	Weight, %	Atomic, %
O	30,95	58,30
Al	2,85	3,18
Si	5,33	5,71
Fe	60,29	32,54
Zn	0,59	0,27
Totals	100,0	

2		
Element	Weight, %	Atomic, %
O	6,28	17,73
Al	2,08	3,48
Si	5,84	9,41
Fe	85,79	69,38
Zn		
Totals	100,0	

3		
Element	Weight, %	Atomic, %
O	31,19	58,90
Al	1,89	2,11
Si	5,21	5,60
K	0,76	0,59
Fe	58,66	31,74
Zn	2,29	1,06
Totals	100,0	

4		
Element	Weight, %	Atomic, %
O	38,14	53,92
Na	1,08	1,06
Mg	1,11	1,03
Al	16,11	13,51
Si	30,18	24,31
K	3,68	2,13
Ca	0,71	0,40
Fe	8,99	3,64
Totals	100,0	

5		
Element	Weight, %	Atomic, %
O	47,15	62,59
Na	0,80	0,74
Mg	0,96	0,84
Al	15,85	12,47
Si	24,96	18,87
K	2,77	1,50
Ca	0,82	0,43
Fe	6,69	2,54
Totals	100,0	

Рис. 7. Електронномікроскопічний знімок фрагменту проби за вересень-жовтень 2016 р. та хімічний склад сферул, позначених на знімку

джерелами походження залізистих сферул в атмосферному аерозолі промислових осередків, за літературними даними (Меньшикова та Осовецький, 2015), є в основному підприємства металургійного та коксохімічного профілю, а також деякі муніципальні об'єкти. Їх надходження в повітря пов'язане з процесами металообробки, викидами металургійної промисловості та іншими техногенними процесами з використанням високих температур.

Існують також інші джерела надходження в атмосферні потоки складової подібного типу, але їх вплив на формування речовинного складу еолової завесі у районі досліджень несуттєвий. Зокрема, це магнітні сферули, що надходять на земну поверхню з космічною речовиною. Характерними ознаками космічного походження сферичних утворень (ознаки космогенної складової у зразках пилу) вказуються (Цельмович та Булат, 2014) насамперед підвищений вміст нікелю і титану, зональна будова, наявність самородних металів (Fe, Ni, Cr, Co, W)

та інші. Також утворення, морфологічно схожі на досліджувані, можуть мати ендегенне походження і знаходитись у покладах, пов'язаних з інтрузивними і ефузивними процесами (Яценко та ін., 2012).

У конденсаційній складовій аерозолей, відібраних з атмосферного повітря Запоріжжя, домішки нікелю, на протилежність міді та цинку, майже відсутні. Загалом, наявність на відстані до 10 км від точки моніторингу таких потужних промислових осередків, як "Запоріжсталь", "Дніпроспецсталь", "Запорізький завод феросплавів", "Запоріжжюкс", "Запорізький титано-магнієвий комбінат", "Запорізький залізорудний комбінат", "Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат" та ін., зводить до мінімуму сенс врахування в пробах відібраної речовини відсотку сферул нетехногенного походження.

Також присутня суттєва кількість сферул без явного домінування заліза чи алюмінію в їх хімічному складі. Взаємний розподіл алюмосилікатних чи залізовмісних конденсаційних частинок, зважаючи на різні технологічні процеси, що призводять до їх утворення, не має за період спостережень певних сезонних залежностей чи зв'язку з розподілом атмосферних процесів. У свою чергу, загальний вміст уламкової складової у пробах атмосферної речовини може помітно коливатись для різних місяців, а протягом року спостерігається незначне зменшення її в теплий період і збільшення в осінній та зимові місяці.

**Висновки.** Дослідження особливостей складу атмосферного аерозолу в приземному повітрі м. Запоріжжя на основі тривалого натурального моніторингу та комплексного аналізу отриманих зразків речовини дозволили визначити ряд закономірностей у розподілі різних речовинно-генетичних типів частинок еолової зависі, у т. ч. складової техногенних процесів. Одним із показників впливу промислових комплексів, зокрема металургійних, на речовинний склад завислої атмосферної речовини, є суттєвий вміст заліза, що в середньому становить 230 мг/кг, а в окремі періоди може сягати 400 мг/кг. Проведений попередній аналіз морфологічних особливостей, гранулометричного та хімічного складу залізовмісних частинок повітряної зависі визначив їх основні генетичні типи, а також зв'язок з рядом забруднювачів, зокрема важких металів. Співвідношення конденсаційної та диспергаційної складових частинок техногенного походження, між іншим, може свідчити щодо ступеня впливу високотемпературних промислових процесів на мінеральний та хімічний склад компонентів еолової зависі.

Окреслюючи перспективу подальших досліджень, слід зазначити необхідність комплексного підходу до визначення кількісних та якісних показників антропогенної компоненти атмосферного аерозолу в повітрі Запоріжжя, що сприятиме результативності наукового пошуку. Сьогодні, завдяки співпраці з фахівцями ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка, у процес аналітичної обробки отриманого натурального матеріалу залучено методи магнітних досліджень, а також відібрано зразки аерозольної речовини з фільтрів очисних установок найбільших підприємств-забруднювачів металургійного комплексу Запоріжжя. Подальші комплексні аналітичні дослідження на основі безперервних режимних спостережень за розподілом завислої речовини атмосферних та водних потоків, техногенної складової ґрунтів та донних відкладів дозволять вирішити визначені проектом завдання, а також розробити певні рекомендації з поліпшення екологічного стану території цього індустріального осередку.

#### Список використаних джерел

Меньшикова, Е.А., Осовецкий, Б.М. (2015). Магнитные сферулы природно-техногенных осадков. *Современные проблемы науки и образования*, 1 (Ч. 1). Отримано 3 жовтня 2017, із <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18203>.

Меньшов, О.І. (2014). Перші результати атоммагнітного контролю стану довкілля на прикладі міста Київ. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 11, 178–184.

Митропольський, О.Ю., Наседкін, Є.І., Федосєєнков, С.Г., Іванова, А.М., Довбиш, С.М. (2016). Відновлення та адаптація проекту моніторингу седиментаційних процесів на шельфі Чорного моря на полігоні "Запоріжжя". *Геологія і полезні ископаєміе мирового океана*, 3, 89–94.

Наседкін, Є.І., Митропольський, О.Ю., Іванова, Г.М. (2013). Моніторинг седиментаційних процесів у зоні взаємодії суходолу та моря: монографія. Київ, Севастополь: НВЦ "ЕКОСІ-Гідрофізика". ISBN: 978-966-02-7171-5.

Наседкін, Є.І. (2017). Геохімічні аспекти досліджень атмосферного аерозолу м. Запоріжжя. *Мінералогічний журнал*, 2 (39), 57–63.

Цельмович, В.А., Булат, С.А. (2014). Выделение космогенной компоненты. В кн. Проблемы изучения космической пыли на Земле (К программе исследования) (с. 44). Дубна: Объединенный институт ядерных исследований.

Ценосфери. (н.д.). Отримано 3 жовтня 2017, із <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ценосфери>.

Яценко, І., Яценко, Г., Бекеша, С., Білик, Н., Варичев, О., Дручок, Л. (2012). Ендегенні Ті-Мн-Fe-силікатні сферули із експлозивних структур та вулканогенно-осадових формацій України. *Мінералогічний збірник Львівського національного університету імені Івана Франка*, 62 (1), 83–101.

Bondar, K. M., Tsiupa, I. V., Kozhemiakin, H. B., Kuraieva, I. V., Voitiuk, Y. Y. (2017). Magnetic minerals and heavy metals content of industrial dusts and polluted topsoil of Zaporizhzhya (Ukraine). *Proc. 16th International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects, 15–17 May, Kiev, Ukraine, 561–566*.

Shu, J., Dearing, J. A., Morse, A. P., Yu, L., Yuan, N. (2001). Determining the sources of atmospheric particles in Shanghai, China, from magnetic and geochemical properties. *Atmospheric Environment*, 35(15), 2615–2625.

Zhou, S., Yuan, Q., Li, W., Lu, Y., Zhang, Y., Wang, W. (2014). Trace metals in atmospheric fine particles in one industrial urban city: Spatial variations, sources, and health implications. *Journal of Environmental Sciences*, 26(1), 205–213.

#### References

Bondar, K., Tsiupa, I., Kozhemiakin, H., Kuraieva, I., Voitiuk, Y. (2017). Magnetic minerals and heavy metals content of industrial dusts and polluted topsoil of Zaporizhzhya (Ukraine). *Proc. 16th International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects, 15–17 May, Kiev, Ukraine, 561–566*.

Cenosphere. (n.d.). Retrieved October 3, 2017, from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ценосфера>. [in Russian]

Menshikova, E., Osovetsky, B. (2015). Magnetic sphaerules in natural-technogenic sediments. *Modern problems of science and education*, 1 (Part 1). Retrieved October 3, 2017, from <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18203>. [in Russian]

Menshov, O. (2014). The first results of the atommagnetic control of environment. Case study from Kyiv. *Geoinformatika*, 11, 178–184. [in Ukrainian]

Mytropolskyi, O., Nasedkin, Ye., Fedoseienkov, S., Ivanova, A., Dovbysh, S. (2016). Recovery and adaptation of the project of monitoring sedimentary processes on the Black Sea shelf at the testing ground "Zaporizhzhia". *Geology and mineral resources of World Ocean*, 3, 89–94. [in Ukrainian]

Nasedkin, Ye., Mytropolskyi, O., Ivanova, G. (2013). Monitoring of sedimentation processes in the land and sea of interaction zone. EKOSI-Gidrofizika: ISBN: 978-966-02-7171-5. [in Ukrainian]

Nasedkin, Ye. (2017). Geochemical research aspects of atmospheric aerosol of Zaporizhzhia city. *Mineralogical journal*, 2(39), 57–63. [in Ukrainian]

Shu, J., Dearing, J. A., Morse, A. P., Yu, L., Yuan, N. (2001). Determining the sources of atmospheric particles in Shanghai, China, from magnetic and geochemical properties. *Atmospheric Environment*, 35(15), 2615–2625.

Tsel'movich, V., Bulat, S. (2014). Выделение космогенной компоненты. In *Problemy izucheniya kosmicheskoi pyli na Zemle (k programme issledovaniya)* (p. 44). Дубна: Russia: Ob'edinennyi institut yadernykh issledovaniy. [in Russian]

Yatsenko, I., Yatsenko, G., Bekesha, S., Varychev, O., Дручок, Л. (2012). Endogenous Ti-Mn-Fe-silicate spherules from explosive structures and volcanic-sedimentary formations of Ukraine. *Mineralogical Review of I. Franko L'viv National University*, 62 (1), 83–101. [in Ukrainian]

11. Zhou, S., Yuan, Q., Li, W., Lu, Y., Zhang, Y., Wang, W. (2014). Trace metals in atmospheric fine particles in one industrial urban city: Spatial variations, sources, and health implications. *Journal of Environmental Sciences*, 26(1), 205–213.

Надійшла до редколегії 11.07.18

Ye. Nasedkin, Cand. Sci (Geol.), Senior Researcher,  
E-mail: nasedevg@ukr.net  
G. Ivanova, Cand. Sci (Geol.), Researcher,  
E-mail: a\_1207@ukr.net,  
S. Stadnichenko, Cand. Sci (Geol.), Senior Researcher,  
E-mail: stadnik\_sm@ukr.net  
Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
55-B O. Gonchara Str., Kyiv, 01054, Ukraine  
O. Andreev, Cand. Sci (Geol.-Min.), Senior Researcher,  
E-mail: andreev@univ.kiev.ua  
V. Morozenko, Cand. Sci (Geol.), Senior Researcher,  
E-mail: vmorozenko@ukr.net  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

## ANTHROPOGENIC COMPONENT OF ATMOSPHERIC AEROSOL SUBSTANCE OF ZAPORIZHZHIA CITY

*The article is devoted to the study of the influence of technogenic processes on the environment, in particular the determination of the contribution of a substance formed in the course of economic activity to the total composition of the solid component of atmospheric aerosol. The actual material was obtained on the basis of the system monitoring of surface air flows within such a powerful industrial center as Zaporizhzhia city. Samples of suspended atmospheric matter accumulated on the filter textile were taken monthly for two years. Parallel continuous observations of hydrometeorological factors (speed, direction, duration of winds, rainfall) provided an integrated approach to the development and synthesis of research results. Field observations and laboratory studies determined a number of patterns in the distribution of the sedimentation substance in the air and the interrelations of the anthropogenic and natural constituents of the substance. The publication describes the features of the chemical composition and morphology of detrital particles, the entry of which into the air caused by technogenic processes, as well as the condensation component of the aeolian suspension, the origin of which is associated with high-temperature processes. The changes in the ratio of the natural / anthropogenic components in the material composition of the aerosol under the influence of external factors (natural and anthropogenic) were investigated. These changes also affect the redistribution of quantitative ratios between the condensed and dispersed components of the aeolian suspension.*

*At the same time, the detrital component can reach the aleuritic dimension, the iron content exceeds 90%, and the proportion of impurities of a number of ferrous and heavy metals, in particular titanium, manganese, nickel, copper, lead, zinc can reach 40% or more. Heavy metals are also found in the form of separate detrital and condensation formations, where their content varies in the range of 50 - 70%. Analysis of the condensation component in the aerosol samples for the period of the research allowed us to give a general characteristic of it and to carry out a preliminary classification by chemical composition. The possibility of determining the focus of atmospheric pollution in terms of the shape, chemical composition and size of aerosols, seasonal factors and characteristics of atmospheric flows were also outlined.*

*Keywords: atmospheric aerosol, monitoring, heavy metals.*

Е. Наседкин, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,  
E-mail: nasedevg@ukr.net  
А. Иванова, канд. геол. наук, науч. сотр.,  
E-mail: a\_1207@ukr.net  
С. Стадниченко, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,  
E-mail: stadnik\_sm@ukr.net  
Институт геологических наук НАН Украины,  
ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01054, Украина  
А. Андреев, канд. геол.-минералог. наук, ст. науч. сотр.,  
E-mail: andreev@univ.kiev.ua  
В. Морозенко, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,  
E-mail: vmorozenko@ukr.net  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

## ОБ АНТРОПОГЕННОЙ КОМПОНЕНТЕ ВЕЩЕСТВА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ Г. ЗАПОРОЖЬЯ

*Статья посвящена исследованию влияния техногенных процессов на окружающую среду, в частности, определению привноса вещества, образованного в процессе хозяйственной деятельности, в общий состав твердой компоненты атмосферного аэрозоля. Фактический материал был получен на основе системного мониторинга приземных воздушных потоков в пределах такого мощного индустриального центра как г. Запорожье. Отбор накопленных на фильтровальной ткани проб взвешенного атмосферного вещества проводился ежемесячно в течение двух лет. Параллельные непрерывные наблюдения за гидрометеорологическими факторами (скорости, направления, продолжительность ветров, количество осадков) обеспечили комплексный подход к разработке и обобщению результатов исследований. Натурные наблюдения и лабораторные исследования определили ряд закономерностей распределения седиментационного вещества в воздухе и взаимосвязей антропогенной и природной составляющих вещества. В публикации рассмотрены особенности химического состава и морфологии обломочных частиц, поступление которых в воздух обусловили техногенные процессы, а также конденсационной составляющей эоловой взвеси, происхождение которой связано с высокотемпературными процессами. Исследованы изменения в соотношении естественная / антропогенная составляющие в вещественном составе аэрозоля под влиянием внешних факторов (природных и антропогенных). Эти изменения сказываются также на перераспределении количественных соотношений между конденсированной и диспергированной составляющими эоловой взвеси. При этом обломочная составляющая может достигать алеуритовой размерности, содержание железа превышать 90 %, а доля примесей ряда черных и тяжелых металлов, в частности титана, марганца, никеля, меди, свинца, цинка, достигать 40 % и более. Тяжелые металлы также встречаются в виде отдельных обломочных и конденсационных образований, где их содержание колеблется в диапазоне 50–70 %. Анализ конденсационной составляющей в пробах аэрозоля за период исследований позволил дать ей общую характеристику и провести предварительную классификацию по химическому составу. Также намечена возможность определения очагов атмосферного загрязнения среды по форме, химическому составу и размеру аэрозолей, сезонным факторам и характеристикам атмосферных потоков. Исследования показали целесообразность уточнения параметров действующих нормативов системы экологического контроля качества воздуха с учетом ряда выявленных закономерностей. В перспективе необходим комплексный подход к определению количественных и качественных показателей антропогенной компоненты атмосферного аэрозоля в воздухе Запорожья, что будет способствовать результативности научного поиска.*

*Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, мониторинг, тяжелые металлы.*