

УДК 504.064

**Чумаченко С.М.**

Національний університет харчових технологій

**Андріюк О.П.**

Національний університет харчових технологій

**Прокопенко В.В.**

Національний університет харчових технологій

## ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СТАНУ ГРУНТОВИХ ВОД У ЗОНІ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ «БОРИСПІЛЬ»

У даній публікації розглянуто особливості реалізації інформаційно-аналітичної системи для здійснення екологічного моніторингу та оцінки стану ґрунтових вод і складових частин навколишнього середовища в зоні впливу техногенного об'єкта – міжнародного аеропорту «Бориспіль». Розроблено програмно-апаратні засоби для здійснення екологічного моніторингу в зоні впливу міжнародного аеропорту «Бориспіль» на основі використання безконтактних сенсорних мереж, Web-орієнтованих засобів візуалізації бази даних екологічного моніторингу із застосуванням аналітичної графіки та геоінформаційних технологій.

**Ключові слова:** екологічний моніторинг, техногенний об'єкт, міжнародний аеропорт «Бориспіль», екологічна оцінка, програмно-апаратний комплекс, база даних.

**Постановка проблеми.** Аеропорт «Бориспіль» є одним із найбільших міжнародних аеропортів України. Як свідчить статистика авіаційних перевезень, за даними об'єднання «Аеропорти України», на його долю припадає до 19% процентів загального пасажиропотоку міжнародних аеропортів України за 2018 рік (аеропорт «Київ» – 52%, аеропорт «Бориспіль» – 19%, аеропорт «Чернівці» – 51%, аеропорт «Львів» – 48%, аеропорт «Харків» – 19%, аеропорт «Запоріжжя» – 15%).

У результаті підвищення інтенсивності авіатransпортних перевезень у зоні техногенного впливу аеропорту Бориспіль підсилюється негативна дія як на зону аеропорту, так і на прилеглі до неї території, що призводить до виникнення проблем забруднення складових навколишнього природного середовища локального характеру.

Експлуатація авіатранспорту супроводжується технологічними викидами в атмосферу цілого ряду аерозолів та газоподібних забруднюючих речовин, проникненням у ґрунти та підземні водоносні горизонти паливно-мастильних матеріалів, важких металів, хлорорганічних сполук та інших забруднюючих речовин. У сучасних умовах джерела водопостачання населених пунктів Мартусівка та Гора, що знаходяться в зоні впливу

аеропорту, перебувають під інтенсивним техногенним навантаженням, яке супроводжується зміною гідрогеологічного, гідрохімічного, геохімічного та гідробіологічного режимів, руйнуванням встановленої протягом багатолітньої еволюції динамічної рівноваги процесів, що відбуваються в ґрунтових водах. Усе це спричиняє негативний вплив на прилеглі екосистеми та населення, що проживає в зоні впливу аеропорту «Бориспіль».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як свідчить аналіз публікацій про оцінку стану навколишнього природного середовища в зоні впливу техногенного навантаження аеропортів [1–4], однією з пріоритетних екологічних проблем є забруднення водоносного горизонту в районі розташування складу паливно-мастильних матеріалів (ПММ) ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль», яке було виявлено ще у 1998 р.

Ураховуючи широкомасштабну діяльність ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль», констатуємо факт, що на його території здійснюється забруднення не тільки гідросфери, а й приземного шару атмосфери та ґрунтів територій, що розміщені в зоні його впливу [5].

**Постановка завдання.** Джерела забруднення ДП «МА Бориспіль» можна умовно поділити на

Методи контролю забруднення води та їх нормативне забезпечення

№ зп	Методи контролю забруднення води	Стандарти, вимоги до контролю якості води
1.	Контроль органолептичних показників і фізико-хімічних характеристик	ІСО 7887 встановлює три методи визначення кольору: - шляхом візуального вивчення; - за допомогою оптичних приборів (спектрофотометрів); - порівняння з кольоровою шкалою.
2.	Контроль вмісту неорганічних сполук	Методика встановлює алгоритм кількісного визначення вмісту іонів амонію у стічних водах у діапазоні вмісту амоній-іонів 0,15-5 мг/дм <sup>3</sup> .
3.	Методика визначення нафтових вуглеводнів	Пробу води 1 л підкислюють до рН=2, додають 2 г NaCl на кожний літр рідини та проводять екстракцію тетрахлоридом вуглецю в ділильній лійці, додають розчинник.
4.	Методи біотестування	Встановлює процедуру біотестування на ракоподібних <i>Daphnia magna</i> Straus для визначення гострої токсичності поверхневих, підземних та зворотних вод, водних розчинів окремих речовин та їх сумішей із ґрунту.

декілька груп: ті, що знаходяться всередині аеропорту, і ті, що розташовані за його межами. Не є винятком забруднення території приреєвкового складу паливно-мастильних матеріалів (ПММ) Державного підприємства «Міжнародний аеропорт «Бориспіль» (ДП «МА Бориспіль»)), що було виявлено у 1998 р., а в 2001 р. в його межах розпочато ліквідаційні заходи.

**Метою** цієї публікації є представлення концепції інформаційно-аналітичної системи для проведення екологічної оцінки якості стану ґрунтових вод у зоні техногенного впливу ДП «МА Бориспіль», що дозволить відслідковувати просторово-часові зміни осередку нафтохімічного забруднення від складу ПММ аеропорту «Бориспіль» за результатами моніторингу та їх вплив на джерела водозабезпечення населених пунктів Мартусівка і Гора.

**Виклад матеріалу дослідження.** Розвиток сенсорів та безпроводних сенсорних мереж (БСМ) дозволяє здійснити новий підхід до вивчення навколишнього середовища, що створює нове науково-методичне підґрунтя, яке концептуально розширює можливості вирішення наукових та практичних проблем екологічного моніторингу ґрунтових вод.

Загальна схема техногенного впливу аеропорту на стан складових частин навколишнього середовища наведена на рис. 1.

Екологічний моніторинг відіграє важливу роль у вирішенні завдань екологічної безпеки для оцінки якості стану ґрунтових вод.

Створення сучасного програмного забезпечення для проведення інформаційно-аналітичної підтримки екологічного моніторингу стану ґрунтових вод у зоні впливу ДП «МА Бориспіль» створює додаткові засоби оперативного реагування на

зміну екологічної обстановки в прилеглих населених пунктах і надає змогу вжиття відповідних запобіжних заходів.

Цей підхід містить значні переваги, на відміну від стандартної статистичної технології, оскільки інформаційно-аналітична система екологічного моніторингу спрямована на підвищення рівня екологічної безпеки в зоні впливу ДП «МА Бориспіль», екологічної оцінки стану природно-техногенного середовища, забезпечення оперативності та якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях.

Основні вимоги до організації екологічного моніторингу за допомогою хіміко-аналітичних лабораторій у селищах Мартусівка та Гора наведені в таблиці 1.

Сьогодні назріла необхідність створення нових підходів та методів щодо обробки, збереження та аналізу інформації про рівень забруднення ґрунтових вод у зоні впливу ДП «МА Бориспіль», яка зумовлена нестабільністю рівнів ґрунтових вод (РГВ) та можливою міграцією лінзи забруднення від складу ПММ в підземних водах [4].

Для вивчення техногенного впливу ДП «МА Бориспіль» застосовано комплексний підхід, що спирається на методологію екологічної оцінки еколого-техногенних загроз за такою схемою: «Об'єкт впливу» – «Шляхи розповсюдження впливу» – «Реципієнти впливу» (див. рис. 2).

Відповідно до цього підходу було побудовано систему критеріїв, факторів та ознак, що поперечно дозволяють побудувати процедури експертно-аналітичного оцінювання за вищенаведеною схемою.

Із результатів аналізу екологічних об'єктів, реципієнтів впливу, а саме селищ Мартусівка та Гора, що знаходяться в зоні впливу ДП «МА Бориспіль»,

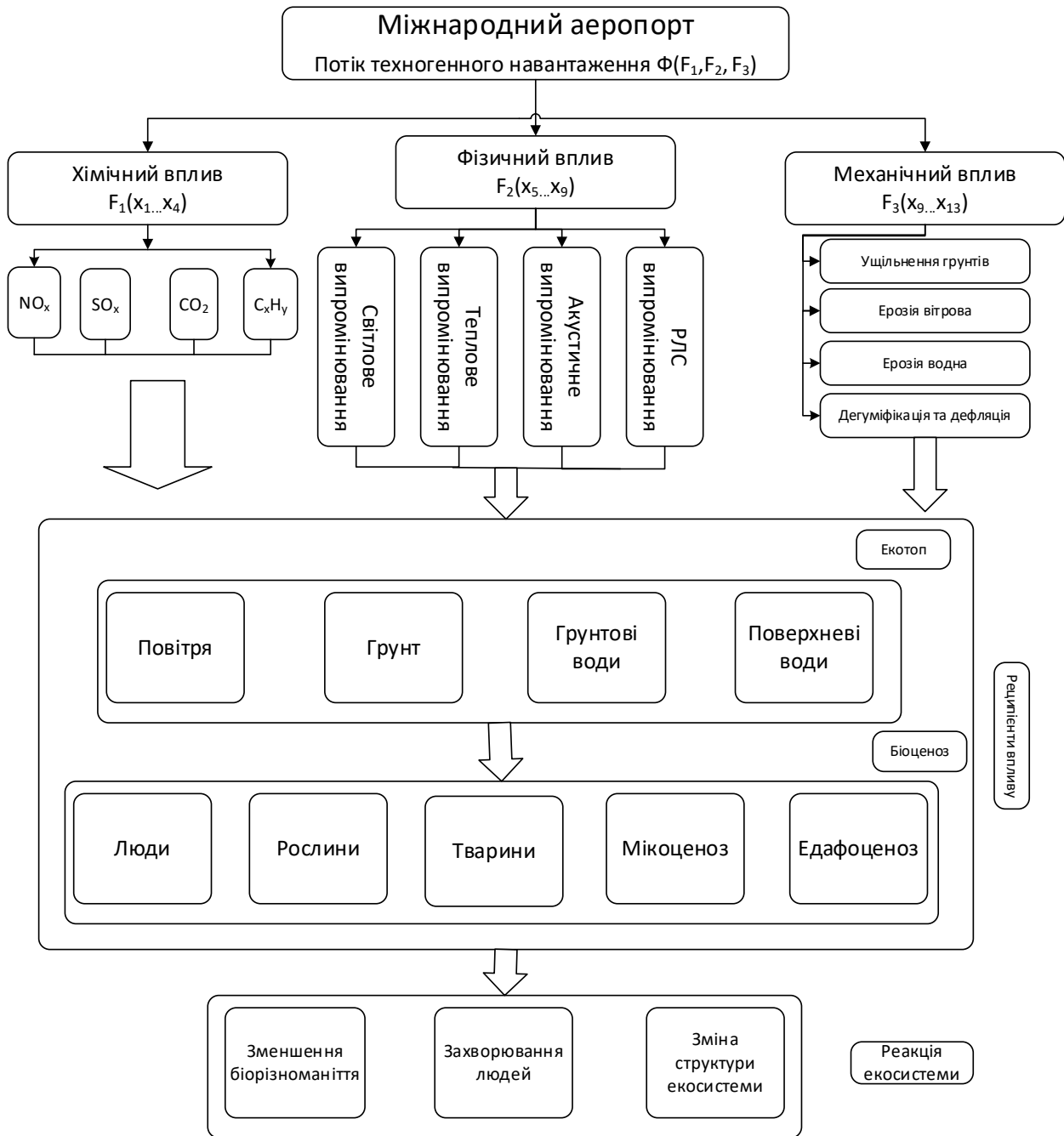


Рис. 1. Загальна схема техногенного впливу міжнародного аеропорту на стан навколишнього середовища

було виявлено, що найбільш уразливою складовою частиною виступають ґрунтові води. Вони формують базу для забезпечення населення питною водою. Після цього було визначено набір даних екологічного моніторингу, які необхідні для вирішення основних задач екологічного моніторингу ґрунтових вод у даних населених пунктах.

Для оцінки якості ґрунтових вод використовувались гідрохімічні методи дослідження, які визначалися за такими показниками:

- 1) рН (водневий показник);
- 2) перманганатна окисність води [23];
- 3) кількість азотовмісних сполук (азот амонію, нітритів та нітратів);
- 4) жорсткість;
- 5) вміст нафтопродуктів;
- 6) наявність важких металів ( $\text{Cu}_{2+}$ ,  $\text{Cr}_{6+}$ ,  $\text{Zn}_{2+}$ ,  $\text{Pb}_{2+}$ );
- 7) сульфати;
- 8) мінералізація.

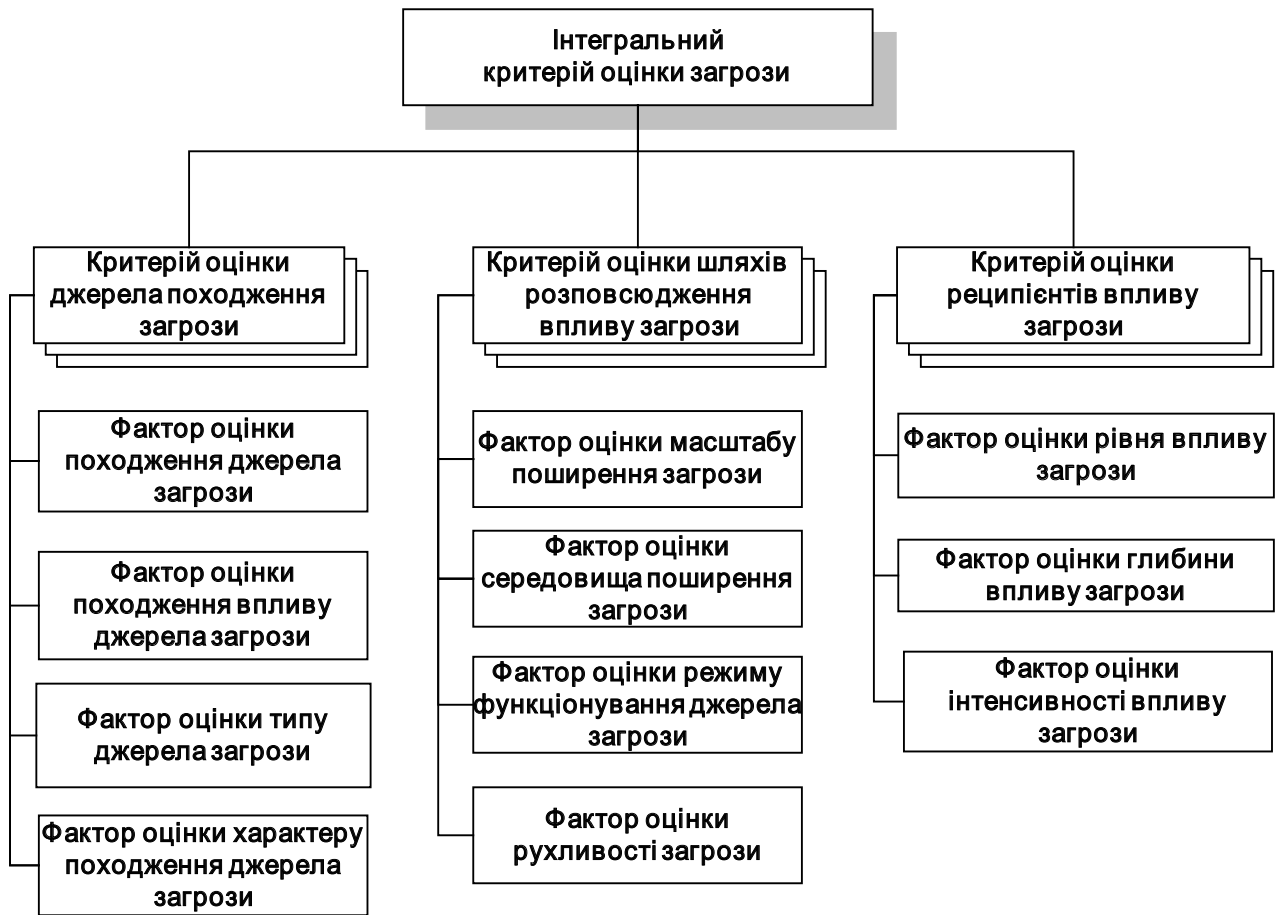


Рис. 2. Ієрархічне дерево критеріїв і факторів оцінки і ранжування еколого-техногенних загроз

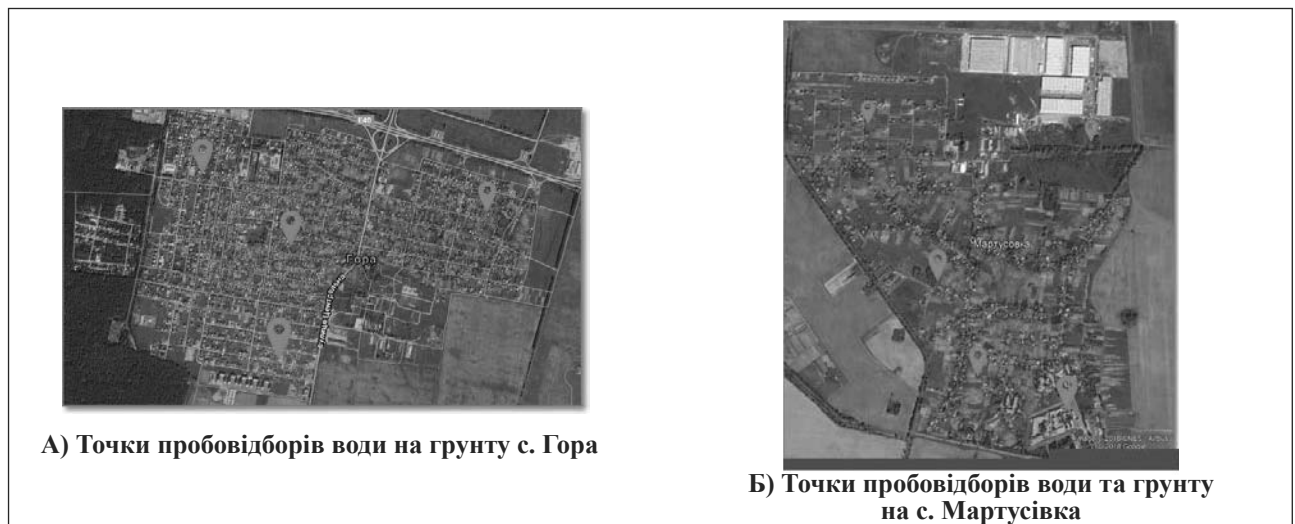


Рис. 3. Точки відбору проб питної води

За результатами аналізу пробовідборів (див. табл. 2) було проведено формування індексу забруднення води, який відповідно до СанПін 2.2.4-171-10 визначається за формулою:

$$ІЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ГДК\ i}}$$

де  $C_i$  – концентрація забруднюючої речовини, що отримана за результатами лабораторних аналізів відібраних проб води та ґрунту;

$C_{ГДК\ i}$  – гранично допустиме значення концентрації відповідної забруднюючої речовини (відповідно до СанПін 2.2.4-171-10);

Таблиця 2

## Зведена відомість аналізу якості проб води, відібраних у селищах Гора та Маргусівка

№ п/п	Назва місця відбору (селище, вулиця).	Показники якості води																												
		рН	цветність, мг/лм <sup>3</sup>	мутність, мг/лм <sup>3</sup>	амоніоний, мг/лм <sup>3</sup>	нитрити, мг/лм <sup>3</sup>	нитрати, мг/лм <sup>3</sup>	железо общес, мг/лм <sup>3</sup>	хлориди, мг/лм <sup>3</sup>	сульфати, мг/лм <sup>3</sup>	кальцій, мг/лм <sup>3</sup>	магній, мг/лм <sup>3</sup>	сухой остаток, мг/лм <sup>3</sup>	жесткость обща, ммоль/лм <sup>3</sup>	печность общ, ммоль/лм <sup>3</sup>	окисляемость перманганатная, мгО/лм <sup>3</sup>	фосфор фосфатов, мг/лм <sup>3</sup>	молибден, мг/лм <sup>3</sup>	кадмий, мг/лм <sup>3</sup>	цинк, мг/лм <sup>3</sup>	марганец, мг/лм <sup>3</sup>	мел, мг/лм <sup>3</sup>	свинец, мг/лм <sup>3</sup>	хром, мг/лм <sup>3</sup>	никель, мг/лм <sup>3</sup>	кобальт, мг/лм <sup>3</sup>	берилій, мг/лм <sup>3</sup>	стронцій, мг/лм <sup>3</sup>	литій, мг/лм <sup>3</sup>	
1	с. Гора, вул. Центральна.	7,50	<5	<0,58	<0,10	0,043	9,2	0,06	303	1467	389	72	2980	25,30	11,5	1,9	<0,04	<0,025	<0,0001	0,219	0,007	0,013	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	<0,100	0,020
2	с. Гора, вул. Мічуріна	7,20	10	<0,58	<0,10	0,020	229,8	0,07	187	1532	335	146	3470	28,70	11,5	1,9	<0,04	<0,025	<0,0001	0,480	0,006	0,042	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	<0,100	0,022
3	с. Гора, вул. Толстого	7,50	7	<0,58	<0,10	<0,002	43,6	0,07	207	1020	285	99	2198	22,30	6,6	1,6	<0,04	<0,025	<0,0001	0,054	0,009	0,002	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	<0,100	0,022
4	с. Гора, вул. Соляна	8,20	6	4,50	<0,10	<0,002	8,9	0,14	333	3119	345	241	5378	37,00	7,9	7,7	<0,04	<0,025	<0,0001	0,025	0,015	0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	0,194	0,016
5	с. Маргусівка, вул. Чубинського	8,80	31	3,90	<0,10	<0,002	<2,2	0,12	596	2206	226	161	4350	24,50	4,0	7,2	<0,04	<0,025	<0,0001	0,028	0,010	0,004	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,0001	<0,100	0,016	
6	с. Маргусівка, вул. Мічуріна	7,50	10	0,65	<0,10	0,027	57,3	0,10	76	339	124	80	978	12,80	6,1	1,0	<0,04	<0,025	<0,0001	0,149	0,016	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	0,108	0,022	
7	с. Маргусівка, вул. Толстого	8,50	21	2,70	<0,10	<0,002	<2,2	0,11	273	1847	184	157	3336	22,10	4,1	5,6	<0,04	<0,025	<0,0001	0,200	0,018	0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	0,100	0,017	
8	с. Маргусівка, вул. Соляна	7,35	7	<0,58	<0,10	<0,002	51,9	0,06	56	124	144	23	720	9,10	7,1	1,0	<0,04	<0,025	<0,0001	0,198	0,003	0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	<0,100	0,020	
9	с. Маргусівка, вул. Бориспільська	7,50	<5	<0,58	<0,10	<0,002	8,6	0,05	30	113	102	12	544	6,10	6,0	<1,0	<0,04	<0,025	<0,0001	0,800	0,003	<0,001	<0,001	<0,005	<0,005	<0,005	<0,0001	<0,100	0,020	

$n$  – кількість забруднюючих речовин, що враховуються під час оцінки.

За величинами розрахованих ІЗВ виконується оцінка якості води. При цьому виділяються такі класи якості води:

- 1) дуже чиста ( $ІЗВ < 0,3$ );
- 2) чиста ( $0,3 < ІЗВ < 1$ );
- 3) помірно забруднена ( $1 < ІЗВ < 2,5$ );
- 4) забруднена ( $2,5 < ІЗВ < 4$ );
- 5) брудна ( $4 < ІЗВ < 6$ );
- 6) дуже брудна ( $6 < ІЗВ < 10$ );
- 7) надзвичайно брудна ( $ІЗВ > 10$ ).

Проби питної води було відібрано в конкретних точках селищ Мартусівка та Гора, які наведено на рис. 3; результати аналізу проб наведено в таблиці 2.

Результати досліджень показали забрудненість ґрунтових вод нітратами, нітридами, важкими металами та нафтопродуктами.

Оцінюючи якість ґрунтових вод за органолептичними показниками, можна сказати, що вода має нормальну температуру: 9-10°C (у холодну пору року) та 15-18°C (у теплу пору року), без смаку та присмаку, не має забарвлення (прозора) та запаху, що свідчить про відсутність у воді звиблих часток як органічного, так і неорганічного походження.

Значення рН-середовища має велике значення у формуванні хімічного складу вод, процесах їх очищення, забезпеченні умов існування для рослинного й тваринного світу водойми. Зокрема, зниження рН сприяє підвищенню розчинності карбонатів, сульфідів, фосфатів, важких металів, збільшенню їх міграції і доступності для засвоєння живими організмами, отруєнню. Цей показник залежить від багатьох чинників: температури води, вмісту органічних речовин, діяльності живих організмів тощо.

За результатами досліджень рН ґрунтових вод в обох досліджуваних точках не виходить за межі допустимих значень (6,5–8,5).

Перманганатна окисність води використовується для оцінки вмісту органічних речовин і характеризує загальну концентрацію атомарного кисню, відповідає кількості перманганату, який витрачається під час обробки даним окисником у певних умовах певної проби води.

Окисність ґрунтових вод залежить від глибини їх залягання. Ґрунтові незабруднені води мають окисність, близьку до окисності артезіанських вод ( $\approx 2$  мг/л).

Підвищена окисність води свідчить про забруднення джерела і потребує застосування від-

повідних заходів із його охорони у процесі використання для водозабезпечення.

У досліджуваній воді с. Гора показник перманганатної окисності має найбільше значення (26,0 мг О/дм<sup>3</sup>) в літній період і найменше (11,0 мг О/дм<sup>3</sup>) – в зимовий, а в с. Мартусівка – найбільше значення (41,0 мг О/дм<sup>3</sup>) в літній період і найменше (11,0 мг О/дм<sup>3</sup>) – в осінній.

На основі існуючих даних моніторингу якості ґрунтових вод було проведено порівняння з взятими пробами із зони впливу техногенного об'єкта. Зазначене зонування має переглядатись принаймні кожні два роки, а у випадку значного підвищення концентрацій забруднюючих речовин – частіше. Плани щодо покращення якості стану ґрунтових вод у зонах і агломераціях повинні містити заходи, що стосуються контролю в надзвичайних випадках. Плани підвищення якості ґрунтових вод найбільш забруднених зон повинні бути спрямовані на захист уразливих груп населення.

Розроблення та проектування WEB додатку включає в себе розробку бази даних екологічного моніторингу та застосування сучасних методів обробки та аналізу багатовимірної інформації про забруднення складових довкілля, ГІС-технології побудови екологічних карт та виявлення територій підвищеного ризику.

Екологічні карти, що відображають стан ґрунтових вод, можуть бути побудовані як на основі даних екологічного моніторингу, так і на основі екологічних індексів. Карти, побудовані на основі екологічних індексів, дають найбільш цілісне і інтегроване уявлення про екологічний стан досліджуваної території, оскільки одночасно враховується цілий ряд небезпечних показників.

Для полегшення змістовної інтерпретації даних моніторингу і результатів аналізу розроблено систему візуалізації екологічних ризиків та індексів, які можна безпосередньо наносити на електронну карту, тобто наочно відображувати території з різним екологічним статусом.

#### **Висновки.**

Застосовано комплексний підхід для вивчення техногенного впливу ДП «МА Бориспіль», що спирається на методологію екологічної оцінки еколого-техногенних загроз.

Розвиток сенсорів та безпроводних сенсорних мереж (БСМ) дозволяє об'єктивно підійти до вивчення забруднення навколишнього середовища, створює нове методичне підґрунтя, що концептуально розширює можливості вирішення наукових та практичних проблем із

застосуванням інтелектуальних мультисенсорних датчиків вимірювання первинної екологічної інформації.

Проведено детальний аналіз результатів моніторингу ґрунтових вод із використанням апробованої системи критеріїв, факторів та ознак, що

попередньо дозволяють побудувати процедури експертно-аналітичного оцінювання. Для полегшення змістовної інтерпретації даних моніторингу і результатів аналізу розроблено систему візуалізації із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

#### Список літератури:

1. Буріченко Л.А., Гулевець В.Д. Охорона праці в авіації: Підручник. Київ: НАУ, 2013. 448 с.
2. Буріченко Л.А., Ененков В.Г., Науменко І.М., Протоерейский А.С. Охрана окружающей среды в гражданской авиации. Москва: Машиностроение, 1992. 320 с.
3. Франчук Г.М., Ісаєнко В.М. Екологія, авіація і космос: Навч. посіб. Київ: НАУ, 2005. 456 с.
4. Гаврилюк Р.Б., Загородній Ю.В. Просторово-часові зміни осередку нафтохімічного забруднення за результатами моніторингу. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України, 2016. Т. 9. С. 28–35.
5. Шкапенко В.В., Кадошников В.М., Мусич Е.Г., Парамонова Н.К., Единач А.В. Трансформація керосина в ґрунтах под действием почвенных микроорганизмов. Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища, 2016. Вип. 25. С. 98–106.

#### ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЗОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОПОРТА «БОРИСПОЛЬ»

*В данной публикации рассмотрены особенности реализации информационно-аналитической системы для осуществления экологического мониторинга и оценки состояния грунтовых вод и элементов окружающей среды в зоне влияния техногенного объекта – международного аэропорта «Борисполь». Разработаны программно-аппаратные средства для осуществления экологического мониторинга в зоне влияния международного аэропорта «Борисполь» на основе использования бесконтактных сенсорных сетей, Web-ориентированных средств визуализации базы данных экологического мониторинга с применением аналитической графики и геоинформационных технологий.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, техногенный объект, экологическая оценка, программно-аппаратный комплекс, база данных.

#### INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE GROUNDWATER STATE IN THE AREA OF TECHNOGENIC INFLUENCE OF THE INTERNATIONAL AIRPORT “BORYSPIIL”

*This publication discusses the features of the implementation of the information-analytical system for the implementation of environmental monitoring and assessment of the state of groundwater and environmental elements in the zone of influence of a technogenic object – Boryspil International Airport. Software and hardware tools have been developed for environmental monitoring in the zone of influence of the Boryspil International Airport based on the use of contactless sensor networks, Web-based means of visualization of the environmental monitoring database using analytical graphics and geo-information technologies.*

**Key words:** environmental monitoring, technogenic object, environmental assessment, software and hardware complex, database.