



ГО «АЦЗ»

“hd

Centre for  
Humanitarian  
Dialogue

Єрмаков В.М., Яковлев Є.О., Чумаченко С.М., Петрук В.Г., Дятел О.О.  
Карпенко М.І., Лубенська Н.О.

Під загальною редакцією Бондаря О.І., Єрмакова В.М.

## **ЕКОЛОГО-ТЕХНОГЕННІ НЕБЕЗПЕКИ І ЗАГРОЗИ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ПРИЗЕМНОЇ АТМОСФЕРИ ДОНБАСУ ЗА УМОВИ ПОВОЄННОГО ПОСТМАЙНІНГУ**

(ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ПОСТМАЙНІНГУ)



КИЇВ 2024

*Друкується за ухвалою вченої ради  
Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління  
(протокол № 1-24 від 01.02.2024)*

Рецензенти:

**О.М. Трофимчук** – доктор технічних наук, член-кореспондент НАН України, професор, директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України;

**Р.В. Петрук** – доктор технічних наук, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, завідувач науково-дослідної лабораторії екологічного проектування та рециклінгових технологій, **Вінницького національного технічного університету.**

Еколого-техногенні небезпеки і загрози від забруднення приземної атмосфери Донбасу за умови повоєнного постмайнінгу.

(Обґрунтування методичних основ екологічно безпечних технологій постмайнінгу).

Монографія / Єрмаков В.М., Яковлев Є.О., Чумаченко С.М., Петрук В.Г., Дятел О.О. Карпенко М.І., Лубенська Н.О. – Київ, 2024. – 85 с.

У монографії узагальнено результати досліджень, спрямованих на розробку та впровадження технології забезпечення екологічної та техногенної безпеки, методичних основ екологічно безпечних технологій в постмайнінгу при ліквідації вугледобувних підприємств України. Розглядаються питання щодо порушення гідрогеологічного режиму вугледобувних регіонів; забруднення підземних та поверхневих вод мінералізованими шахтними водами; відчуження територій розміщення породних відвалів та інших відходів; деформації, просідання та підтоплення земної поверхні над гірничими виробками при ліквідації вугледобувних підприємств. Наведено розробка інформаційної системи моніторингу метану (параметрів навколишнього середовища) в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Донбасі методику прийняття управлінських рішень щодо забезпечення вимог природоохоронного законодавства під час ліквідації вугільних шахт. Розроблено комплекс природоохоронних технологій, що забезпечують зменшення техногенного навантаження на навколишнє природне середовище та вирішення екологічних проблем вугледобувних регіонів України.

Монографія призначена для широкого кола інженерно-технічних працівників вугільної та енергетичної галузей промисловості, науково-дослідних та проектних організацій. Може бути корисною у навчальному процесі з питань постмайнінгу вищих навчальних закладів щодо гірничих та еколого-орієнтованих спеціалізованих дисциплін.

Під загальною редакцією Бондаря О.І., Єрмакова В.М., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

Редактори:

Діпл.-інж. Лубенська Н.О., Дослідницький центр пост-майнінгу при Вищій Технічній школі Георга Аґріколи в м. Бохум (Technische Hochschule Georg Agricola)

Доц. Дятел О.О., Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

За підтримки «Центру гуманітарного діалогу» (The Centre for Humanitarian Dialogue): С.В. Середа, Д.І. Шибалов

Фото на обкладинці: Єрмакова В.М.

ISBN: \_\_\_\_\_

Думки, досвід та термінологія, викладені в цій публікації, не повинні сприйматись як думки та позиція Ейч Ді Центру гуманітарного діалогу. Цей текст містить напрацювання та досвід наукових інституцій чи окремих експертів, що дотичні до питання захисту критичної інфраструктури. Роль Ейч Ді Центру гуманітарного діалогу полягала у організаційній підтримці проведення конференції, організації участі міжнародних експертів у заході та створенні умов для виходу цієї публікації, але не у визначенні змісту і тональності тексту, викладеному в ній.

УДК 622.27:504.064.4

## **ВИХІДНІ ДАНІ**

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
Дослідницький центр пост-майнінгу при Вищій Технічній школі Георга Аґріколи  
в м. Бохум (Technische Hochschule Georg Agricola)

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
Вінницький національний технічний університет

Асоціація фахівців цивільного захисту

За підтримки «Центру гуманітарного діалогу» (The Centre for Humanitarian  
Dialogue)

Виконавці

Єрмаков В.М., д.т.н. (наук. керівник)

Яковлев Є.О., д.т.н. (відповід. виконавець)

Чумаченко С.М., д.т.н. (геоінформаційні методи)

Петрук В.Г., д.т.н. (Постмайнінг гірничо-добувної галузі та промислових  
відходів (на прикладі Вінниччини))

Карпенко М.І., (геоінформаційні методи)

Лубенська Н.О. (Концепція менеджменту шахтних вод в Німеччині, як модель для  
закриття шахт в Україні)

Дятел О.О. (Концепція менеджменту шахтних вод в Німеччині, як модель для  
закриття шахт в Україні)

За підтримки «Центру гуманітарного діалогу» (The Centre for Humanitarian  
Dialogue): С.В. Середа, Д.І. Шибалов

Фото на обкладинці: Єрмаков В.М.

ISBN:

Київ-2024

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1. Структурно-тектонічні фактори формування газоносності вуглепородних масивів Донбасу. Походження метану.....	8
2. Розподіл запасів метану у природних умовах у вуглепородних масивах районів Донбасу та його сучасний вплив на безпеку життєдіяльності.....	16
3. Результати обстеження приповерхневих виділень метану на шахтних полях ДП “Первомайськвугілля” (керівник Перепелиця Б.О.).....	22
4. Результати обстеження приповерхневих виділень метану на шахтних полях ДП “Первомайськвугілля” (кер. Перепелиця Б.О.).....	26
5. Нові потенційні небезпеки приповерхневого виділення метану у підґрунті вуглепородних відвалів (териконів).....	37
6. Розробка інформаційної системи моніторингу метану (параметрів навколишнього середовища) в зоні впливу потенційно-небезпечних об’єктів на Донбасі.....	48
7. Концепція менеджменту шахтних вод в Німеччині, як модель для закриття шахт в Україні.....	59
8. Постмайнінг гірничо-добувної галузі та промислових відходів (на прикладі Вінниччини).....	71
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

<b>ЗУ</b>	– Закон України
<b>ВВР</b>	– Відомості Верховної Ради
<b>КМУ</b>	– Кабінет Міністрів України
<b>ГДК</b>	– гранично допустимі концентрації
<b>ДСТУ</b>	– Державні стандарти України
<b>ВМФС</b>	– водо-метан-фільтраційна система
<b>ДЗЗ</b>	– дистанційне зондування землі
<b>БПЛА</b>	– безпілотний літальний апарат
<b>БАС</b>	– безпілотна авіаційна система
<b>ДПЛА</b>	– дистанційно-пілотований літальний апарат
<b>ГІС</b>	– геоінформаційна система
<b>ДСНС</b>	– Державна служба надзвичайних ситуацій

## ВСТУП

Досвід вугледобувних країн світу свідчить, що з наявністю метану у вугільних шахтах при їх розробці та знятті з експлуатації формуються дві складні проблеми - “вугілля-метан” та “вугілля-вода-метан”. Багаторічний досвід розробки вугільних родовищ Донбасу (більше 200 років) свідчить, що ресурси метану вугленосних товщ ніколи не ставили на баланс шахт як додатковий енергетичний ресурс. В небагатьох випадках частина метану, яка вилучалась із вугільних шарів свердловинами на поверхні, або підземними дегазаційними системами, утилізувалась, але це не досягало суттєвого економічного значення.

За умови масштабного скорочення кількості діючих шахт та прискорення їх некерованого затоплення з початком російської агресії в межах Донбасу відбувається регіональне формування водо-метан-фільтраційних систем (ВМФС). Для ВМФС характерним є прискорений рух вибухонебезпечного метану до земної поверхні над гірничими виробками, зонами тектонічних порушень та виходами шарів вугілля та газоносних пісковиків в межах річкових яружно-балкових долин.

Попередній аналіз факторів формування ВМФС дозволяє дійти висновку, що вплив структурно-геологічних та геоморфологічних умов шахтних полів на висхідну міграцію метану зростає за умови підйому рівнів шахтних вод до фільтраційної проникної зони регіонального вивітрювання. Крім того, розвиток техногенної тріщинуватості в межах шахтних полів активізує висхідну міграцію вільного і адсорбованого метану і додаткове формування метан-водних потоків.

На нашу думку, принципово новим фактором погіршення безпеки життєдіяльності в межах промислово-міських агломерацій Донбасу над шахтними полями (до 60 об'єктів) може бути комплексний вплив висхідних потоків метану в межах ділянок підтоплення численних териконів (до 1200 об'єктів), значна частина яких знаходиться у стані тління і горіння (більше 300 об'єктів) із загрозою їх активізації до вибухонебезпечного стану.

Крім того, у процесі осіданні земної поверхні при затопленні гірничих виробок можливе розширення зон тріщинуватості і додаткове формування водно-метанових висхідних потоків.

## **1. Структурно-тектонічні фактори формування газоносності вуглепородних масивів Донбасу. Походження метану.**

Форми розміщення вуглеводнів у вуглепородних масивах подібні до природних процесів, які є характерними для природних газів у осадових формаціях. Водночас існують певні особливості утворення, що зумовлюють специфіку формування природної газоносності вугленосної товщі [1, 2].

На сьогодні, оцінка потенціалу метану вугільних родовищ України до глибини 1 800 м (за попередніми даними) становить: 12–13 трлн м<sup>3</sup> – загальні ресурси метану вугільних родовищ України (вугілля+пісковики); 3,0–3,5 трлн м<sup>3</sup> – реальні ресурси метану, який можна видобути з вугільних пластів і порід; 314 млрд м<sup>3</sup> – обліковані Державним балансом України на 1.01.2012 р. запаси метану по 186 шахтах та ділянках. На сьогодні, за даними балансу запасів, метан вугільних родовищ поширений нерівномірно

Сучасне поширення газів у басейні пов'язано з особливостями геологічного розвитку басейну, глибиною залягання вугленосних відкладів, тектонічною будовою, літолого-фаціальним складом порід, що вміщують, та умовами циркуляції підземних вод [1]. У вугільних пластах і породах, що вміщують, газ перебуває у вільному, сорбованому й клатратному (надмолекулярнозв'язаному) станах. Співвідношення об'єму вільних і сорбованих газів залежить від термобаричних умов гірського масиву, показників колекторських властивостей порід вугленосної товщі, ступеня обводнення тощо.

Стан газонасиченості вуглепородного масиву – результат тектонічних процесів, які є син- та постгенетичні щодо періодів формування вугільних пластів. Глибинна будова та аналіз матеріалів з історії геологічного розвитку Донецького басейну свідчать, що утворення й формування складчастих форм масиву відбувалося впродовж усієї геологічної історії розвитку регіону.

Унаслідок відмінностей гіпсометричних рівнів вугільної товщі у постформаційний період відбувається зміна складу й перерозподіл зон газонасичення масиву. Під час активізації тектонічних рухів у вуглепородних масивах створювалися нові структури для природної дегазації, акумуляції та збереження газу. Це почасти пояснює чому газу, серед яких і метан, у вугільній



товщі поширені нерівномірно. Один з головних чинників нерівномірного поширення газу у вуглепородному масиві – характер розміщення сучасних геологічних структур з вугленосними покладами в них. Газоносність вугільних пластів контролюється геологічними структурами, де простежується чіткий взаємозв'язок: газоносність вугільних пластів визначається наявністю дрібних структур різного характеру, в яких газові поклади пов'язані з вугільними пластами й породами, що їх уміщують.

Узагальнивши фактичний матеріал щодо метанозбагаченості шахт Г.Д. Лідіна й А.Я. Радзівілла [2-4] й інших досліджень дозволяють визначити такі особливості газоносності вуглепородних масивів Донецького басейну:

- газові зони збігаються із зонами метаморфізму;
- газонасичені зони контролюються синклінальними та антиклінальними структурами шахтних полів;

- **тектонічні порушення вуглепородних масивів різного часу формування змінюються пізнішими та впливають на шляхи міграції водогазових флюїдів;**

- сучасні газонасичені зони вуглепородних масивів сформовані в період останньої (альпійської) тектоно-магматичної активації;

- прискорене за умови російської агресії закриття шахт призвело до заповнення водою гірничих виробок і зон техногенної тріщинуватості над ними, що збільшило надходження метану у приземну атмосферу прилеглих до шахт міст і селищ.

Дослідженнями встановлено, що первинна газоносність вугілля визначається ступенем метаморфізму, а саме: чим більше метаморфізоване вугілля (марки Д, Г, Ж, П, С), тим більше метану вміщує [1-5]. Однак подальші процеси дегазації, розвиток яких залежав від низки природних умов, змінили первинну газоносність і на сучасних глибинах гірничих робіт газоносність вугілля визначається ступенем дегазації відкладів.

В регіональному плані визначено три зони, які збігаються зі стадіями метаморфізму вугілля.

**Першу (рис. 1)** приурочено до району розвитку антрацитів (вуглепромислові райони Довжано-Ровеньківський і Сніжнянський), для неї характерні дуже низькі значення метаносності або її повна відсутність.

**Другу зону (рис. 2)** приурочено до площ з поширенням переважно спіктивного вугілля (вуглепромислові райони Донецько-Макіївський і Центральний), їй притаманна найвища газосність.

**Третя зона (рис. 3)** охоплює околиці Донбасу з низькометаморфізованим вугіллям, переважно довгополум'яним і газовим (вуглепромислові райони Червоноармійський, Лисичанський і Краснодонський), її газосність нижча порівняно з другою зоною.

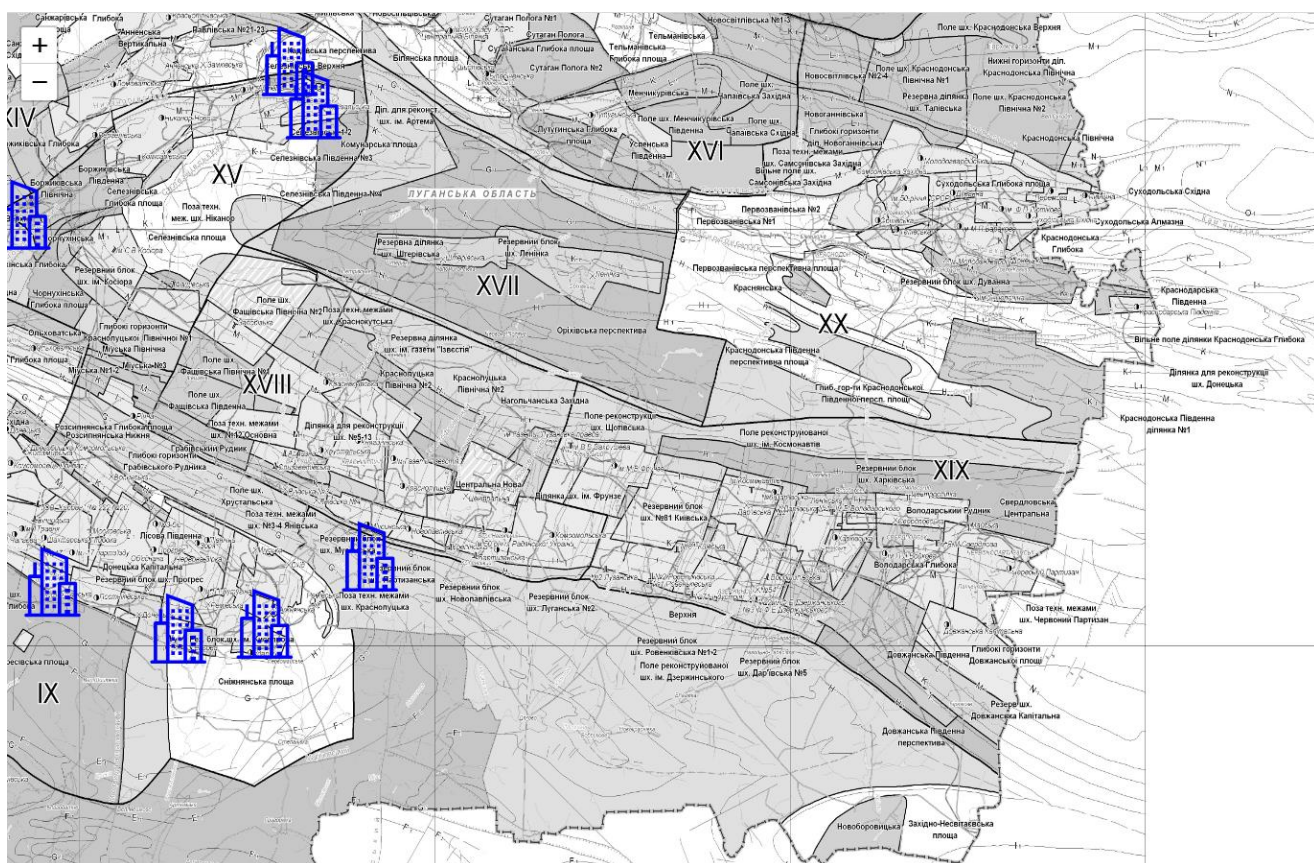


Рис.1. Вуглепромислові райони Довжано-Ровеньківський і Сніжнянський

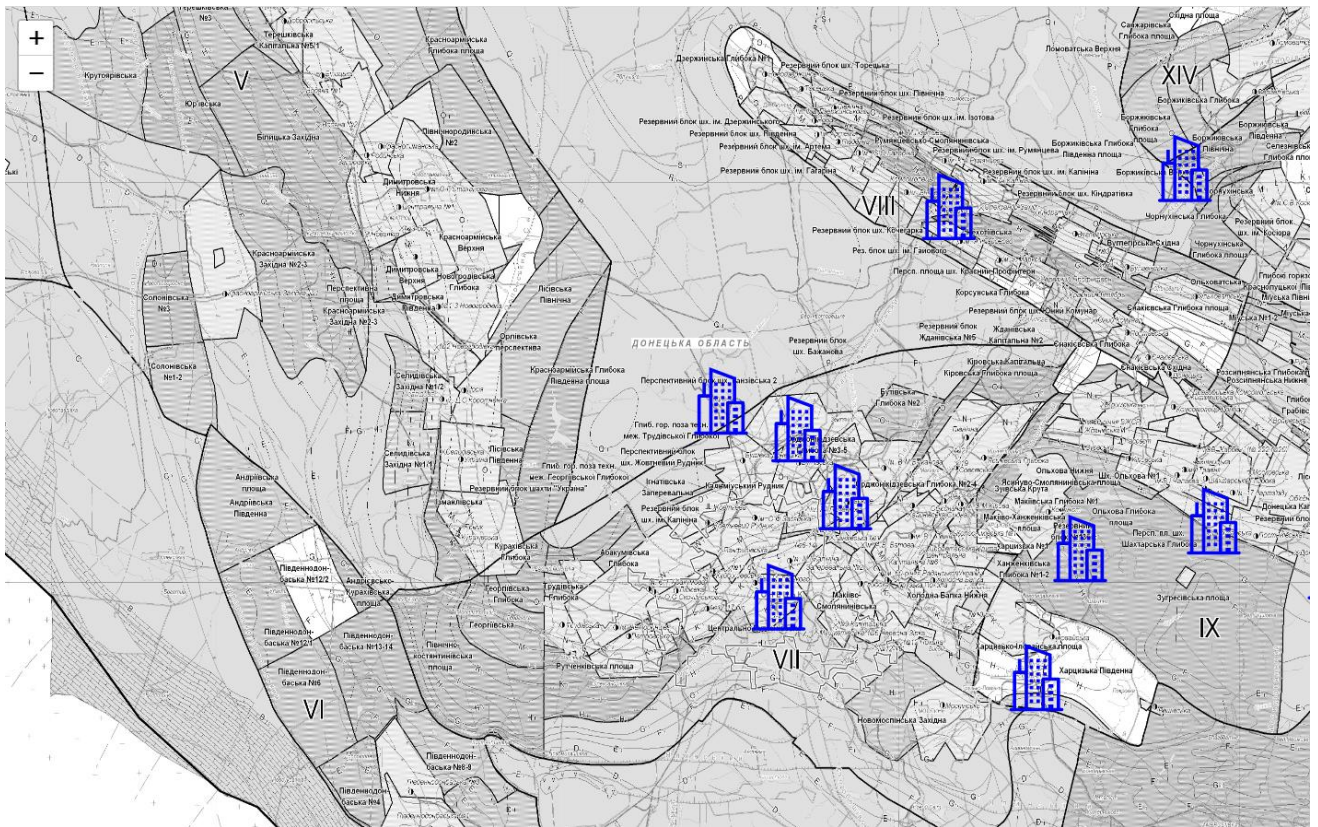


Рис.2. Вуглепромислові райони Донецько-Макіївський і Центральний

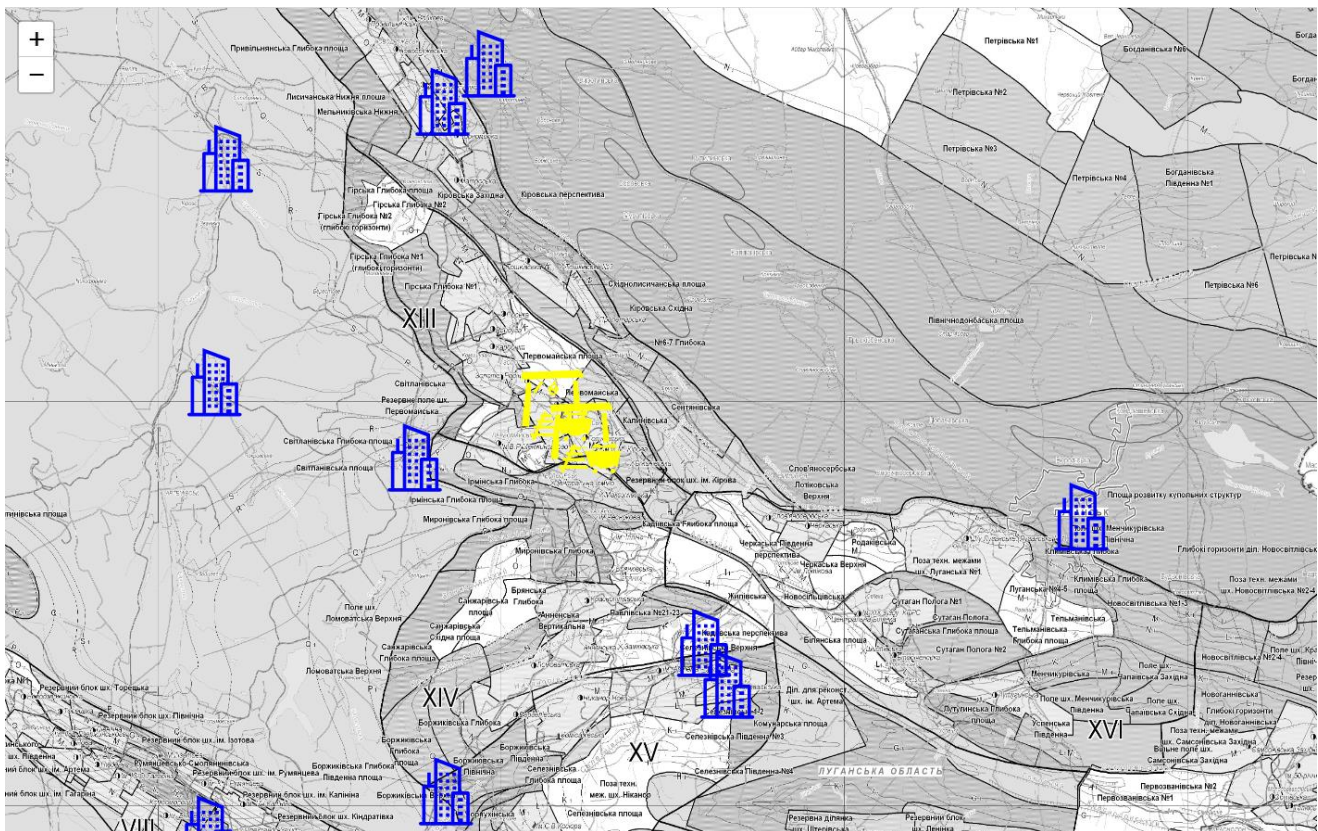


Рис.3. Вуглепромислові райони Червоноармійський, Лисичанський і Кrasнодонський

Зв'язок газонасності й глибини залягання вугільних пластів також корелюються – газонасність вугільних пластів збільшується з глибиною. Але така закономірність спостерігається в спокійному моноклінальному заляганні порід і в однаковому марковому складі вугільних пластів. В цілому розподіл природних газів у межах Донецького басейну дуже нерівномірний, що підтверджено варіацією глибини залягання поверхні метанової зони, а також даними щодо газового режиму шахт. У Донецько-Макіївському вугленосному районі характерне полого залягання пластів (кути падіння 8–25°), ускладнене плікативними й диз'юнктивними порушеннями, особливо в південній частині. Здебільшого в покрівлі вугільних пластів залягають сланці глинисті, зрідка – алевролітові, які можуть уповільнювати розвиток техногенних газопроникних зон.

Головні закономірності поширення газів у вуглепородному масиві Донецько-Макіївського вуглепромислового району зумовлені характером та особливостями геологічної будови, загалом по району спостерігаємо загальне закономірне занурення метанової зони зі сходу на захід. У західній частині глибина залягання верхньої межі метанової зони коливається в межах 400–500 м, що вказує на глибоку дегазацію вугленосної товщі. На сході поверхня метанової зони піднімається до глибини 150 м (район м. Донецька) і сягає 100 м у Ясиновських шахтах. У центральній частині району поверхню метанової зони приурочено найчастіше до абсолютної позначки (+50) м. Відхилення в будь-яку сторону спостерігають зазвичай поблизу розривних порушень.

У межах Калиновської й Чайківської флексур поверхня метанової зони перебуває на абсолютній позначці ( $\pm 0$ ). Далі на захід спостерігаємо занурення поверхні метанової зони. У районі Моспинської групи шахт вугленосні відклади дегазовано до абсолютної позначки (– 100) м. У південно-східній частині в районі Зуєвського купола й Ряснянської синклінали поверхня метанової зони розміщена в основному на глибині 80 м.

При порівнянні метанонасності вугільних пластів в осьових частинах антикліналей і синкліналей, відзначено, що в межах одних і тих самих глибин синклінальні структури дегазовано завжди глибше. У донних частинах синкліналей деметанізація сягає свого максимального розвитку. Максимально

деметанізовані зони можна простежити в Лисичанському, Алмазно-Маріїнському, Луганському й Краснодонському вуглепромислових районах.

Ділянки з максимальним підняттям глибини залягання верхньої межі метанової зони приурочено до антиклінальних складок. У Лисичанському вуглепромисловому районі максимальні позначки підняття метанової зони приурочено до куполів ( $\pm 0$  і вище) Томашівських, Тошківських, Кременського та інших. На крилах складок поверхня метанової зони занурюється до  $(-100)$  і  $(-200)$  м. Шахти “Кременна Західна”, “Кременна № 1”, “Томашівська Північна” та “Томашівська Південна”, які розміщено в межах цих куполів, під час відпрацювання вугільних пластів на глибинах 300–540 м за газоємності виробок 15–37 м<sup>3</sup>/т д.в. мають надкатегорійний стан за метаном.

Для Алмазно-Маріїнського вуглепромислового району характерне максимальне підняття поверхні метанової зони в межах Первомайської й Аненської антикліналей (відповідають абсолютним позначкам від  $(\pm 0)$  до  $(-100)$  м). Усі шахти, які розробляють, – надкатегорійні за метаном. На крилах антиклінальних піднять відбувається занурення метанової зони.

На глибших горизонтах структурний чинник, можливо, матиме менший вплив на газоносність вуглепородного масиву чи локально зосереджуватиметься в інших зонах структури. За багатьма висновками, структурний чинник з глибиною згладжується й не впливає на газоносність.

У межах Червоноармійського вугленосного району простежується поступове занурення поверхні метанової зони з півночі на південь від  $(-150)$  м до  $(-450)$  м. Через це газозбагачення виробок північних крил шахти зазвичай значно вище від південних. Великих змін зазнають значення газозбагачення в зонах розривних порушень.

До загальних закономірностей не можна зарахувати суфлярні виділення газу, бо хоча вони і є показниками газозбагачення шахт, але часто провокують раптові газодинамічні процеси у виробках.

Залежність газоносності вугільних пластів від характеру геологічних структур добре простежується в Центральному вуглепромисловому районі Донбасу, який розміщений у межах Головної антиклінали. Тут спостерігається

збільшення глибини залягання поверхні метанової зони зі сходу на захід. Якщо в західній замковій частині Головної антикліналі вона занурюється до глибини 300–400 м, то в східній частині антикліналі поверхня метанової зони лежить на глибині 100 м.

Південне крило антикліналі відрізняється від північного меншою дегазацією. У Центральному районі добре простежуємо залежність між ступенем дегазації вугленосної товщі й викиднебезпечністю вугільних пластів. Максимальна кількість викидів відбулася на південному крилі антикліналі, яке характеризується найвищою газоносністю вугільних пластів.

Відповідно до вищевикладеного, у східній частині району більшість шахт належить до надкатегорійних за газом, а газозбагачення гірничих виробок у окремих випадках сягає  $70 \text{ м}^3/\text{т д. в. й}$  більше.

Деяке підняття метанової зони відзначено між Артемівським і Чегарським насувами. Глибокою дегазацією характеризується вугленосна товща поля “Шахти № 5 ім. В. І. Леніна” та західне крило шахти “Кочегарка”, а також загалом осьова частина Головної антикліналі.

У певній залежності перебувають глибина поверхні метанової зони й ступінь дегазації вугленосної товщі від розвитку гідрологічної мережі: у районах широкого розповсюдження гідрологічної мережі шахти зазвичай менш газозбагачені, а поверхня метанової зони знижується до глибини 300–500 м. Наприклад, на “Шахті № 5 ім. В. І. Леніна” виробки характеризуються меншим газозбагаченням, а у поруч розміщених шахт “Кочегарка” і “Комсомолец”, де обводненість менша, вугільні пласти – небезпечні за раптовими викидами вугілля й газу.

У межах Луганського вуглепромислового району проявляється вторинна складчастість та складки третього порядку, які викликають підняття метанової зони до абсолютної позначки ( $\pm 0$ ) м. У районі незначних піднять, які ускладнюють донну частину Лутугінської синкліналі, фіксується й підняття поверхні метанової зони до  $(-150) - (-200)$  м за загального занурення її до вісі синкліналі до  $(-300) - (-400)$  м.

У Краснодонському вуглепромисловому районі в межах антиклінальних складок (Талівська, Сорокінська, Ворошилівська, Ізваринська) верхня межа метанової зони відповідає позначкам від ( $\pm 0$ ) до ( $-100$ ) м. У межах синкліналей поверхня метанової зони занурюється на глибину до ( $-300$ ) м і нижче.

Горизонти проникних пісковиків ( $k_3^6Sk_3^H$ ,  $K_3Sk_2^{1H}$ ,  $k_2^B SK_3$ ,  $k_1 1SK_7$ ), які в межах кожної світи нараховують 4 – 5 горизонтів, – це додаткове джерело газу у вуглепородному масиві, особливо на глибинах понад 800 – 1 000 м.

*В цілому за результатами багатьох досліджень встановлено, що поширення газу в межах вуглепромислових районів Донбасу на помірних глибинах суворо підпорядковане структурному чиннику, а глибина залягання поверхні метанової зони визначається наявністю антиклінальних структур і тектонічними порушеннями.*

## **2. Розподіл запасів метану у природних умовах у вуглепородних масивах районів Донбасу та його сучасний вплив на безпеку життєдіяльності**

Проблемам газоносності кам'яновугільних покладів присвячені тривалі (з кінця XIX — початку XX ст.) й численні наукові дослідження та практичні роботи, спрямовані на вивчення особливостей вмісту і розподілу вуглеводневих газів у пластах вугілля вміщуючих породах [2-5].

Ці проблеми розглядались у двох головних аспектах:

1) газоносність (метаноносність) кам'яновугільних родовищ як визначальний чинник прояву небезпечних газодинамічних явищ: викидів порід, вугілля, вибухів газу, пило-газової суміші та ін.) при веденні гірничодобувних робіт;

2) можливість використання (утилізації) метану як самостійного нетрадиційного виду енергетичної сировини.

Повоєнний розвиток вугільної промисловості Донбасу та безпека життєдіяльності у містах і селищах гірничодобувних районів знаходиться у прямій залежності від успішного вирішення питань дегазації приземної атмосфери в їх межах. Майбутнє збільшення глибин розробки вугільних родовищ призведе до ускладнення гірничо-геологічних умов: зниження стійкості виробок, зміни напружено-деформованого стану гірського масиву, збільшення газоносності та викидонебезпеки.

При переході на більш глибокі горизонти газовий режим гірничих виробок (виділення в них метану та інших газів) стає основним чинником, який суттєво впливає на умови безпеки та стримує темпи гірничодобувних робіт. З 240 шахт України 87% були небезпечними по газу. Тому при видобуванні вугілля однією з найважливіших проблем гарантування безпечного ведення робіт є видалення метану з вугільних пластів у місцях їх розробки, а також на ділянках, де відбувається або планується підготовка до експлуатації вугільних родовищ.

Окрім створення безпечних умов праці, зменшення загрози здоров'ю та життю шахтарів, виділення метану у повітря викликає значне погіршення екологічного стану довкілля, перш за все забруднення приземного атмосферного повітря у прилеглих до шахт містах і селищах, створення парникового ефекту. У



структурі викидів парникових газів в Україні на метан припадає близько 35%. У процесі видобування вугілля викиди метану становлять 80% від усіх викидів метану в енергетиці України.

Основними джерелами викидів метану з вугільних родовищ є системи вентиляції та дегазації.

Реструктуризація підприємств вугільної промисловості, а з початком військових дій прискорене некероване затоплення шахт [1, 2, 7] призвело до виникнення низки гострих екологічних проблем, серед яких важливе місце посідають наслідки дегазації вуглепородних масивів з міграцією до денної поверхні метану, радону, вуглекислого газу та інших небезпечних газів. У процесі консервації шахт «мокрим» методом виникають нерівноважні газогідродинамічні ситуації, зумовлені надзвичайно складною структурою відпрацьованого простору та активними змінами напружено-деформованого вугільно-породного масиву. Це пов'язано з наявністю специфічних зон міграції газів, які є шляхами підсиленого надходження метану у поверхневі відклади, ґрунтові води та атмосферне повітря шахтарських населених пунктів.

Виявлення та прогнозування ділянок максимального скупчення вуглеводневих газів, зон їх надходження до денної поверхні зараз та за умови повоєнного постмайнінгу є однією з найбільш складних проблем гірничо-видобувних районів Донбасу. Такі прогнози базуються на вивченні геологічних факторів, що впливають на накопичення, зберігання та розподіл газів у породному масиві і літолого-фаціальні умови накопичення осадових відкладів, палеогеотемпературний режим, типи й параметри тектонічної (неотектонічної та сучасної) дислокованості.

Виконані польові дослідження групи фахівців під егідою Центру Гуманітарного Діалогу Міжнародного Комітету Червоного Хреста (Швейцарія, Женева) дозволяють зробити попередній висновок, що приземне накопичення метану залежить від трьох природних чинників:

- 1) газоносності;
- 2) напруженого стану (тектонічних особливостей);
- 3) фізико-механічних властивостей вугілля та вміщуючих порід.

За сучасними оцінками, ресурси метану у вугільних пластах діючих шахт Донбасу становлять 0,491 трлн м<sup>3</sup>; ресурси метану у вугільних пластах за межами полів діючих шахт — 0,592 трлн м<sup>3</sup>; ресурси вільного метану у вміщуючих породах — 3,77 трлн м<sup>3</sup>. Загалом запасів метану понад 4,0 трлн м<sup>3</sup> (табл. 1, 2, рис.1, 2).

Переважаюче видобування метану вугільних пластів в Україні зумовлювалося лише вимогами техніки безпеки. За різними оцінками у процесі вугледобувних робіт в атмосферу викидалося близько 95% метану, який надходив у виробки при розробці газонесних вугільних пластів.

У 1980-ті роки в Донецькому вугільному басейні дегазація здійснювалася на 115—120 шахтах із 272. Ефективність видобування метану тут не перевищувала 25 %. Із щорічно видобутих 800 млн м<sup>3</sup> метану використовувалося не більше 10 %, переважно для шахтних котелень.

В регіональному плані за понад 200-річний період функціонування основного вугільного регіону України було закрито сотні шахт, вироблені простори яких заповнені газом із високим вмістом метану. За даними геологів, з шахт, що припинили видобуток, обсяги виходу метану можуть становити до 90,4 т на добу (23 тис. т на рік) на 1 км виробок.

Наприклад, згідно зі спостереженнями, у м. Первомайську (Луганська обл.) із вироблених просторів закритої шахти «Центральна-Первомайська», що відпрацювала пласт на глибині від 25 м до 300 м, метан виділявся на поверхню після її ліквідації близько 20 років. На підробленій території за цей час сталося 5 вибухів та спалахів метану у житлових та виробничих приміщеннях.

По пробуреним свердловинам, що використовувались для утилізації метану з метою захисту житлових будинків, виділилося понад 60 млн. м<sup>3</sup> газу. Дебіт газової суміші становив 17—20 м<sup>3</sup>/хв при вмісті 24-25% метану та до 5% вуглекислого газу. Обсяг метану, що виділявся із ліквідованої шахти, перевищив його запаси у зближених пластах. Отже, газ припливав у вироблений простір із непідроблених порід, що, за словами фахівців, обумовлено їх осушенням. Доцільність утилізації метану з кожної конкретної закритої шахти залежить від його дебіту. Особливість описаних умов полягає в тому, що багато з закритих

шахт приурочені до великих антиклінальних і купольних складок, де висока тріщинуватість порід обумовлює їхню велику проникність і приплив метану у вироблений простір зі значною площею, а також у наявності великих обсягів тріщинуватих осушених порід, що примикають до виробленого простору.

За результатами досліджень [2, 3] встановлено, що метан, який витягується із закритих шахт, за кількістю та якістю придатний для використання за наступних умов:

- розташування вироблених просторів на антикліналях та куполах з високою тріщинуватістю порід;
- висока газонасиченість шахт в останній рік їх експлуатації (понад 20 м<sup>3</sup>/хв);
- короткі терміни ліквідації стволів.

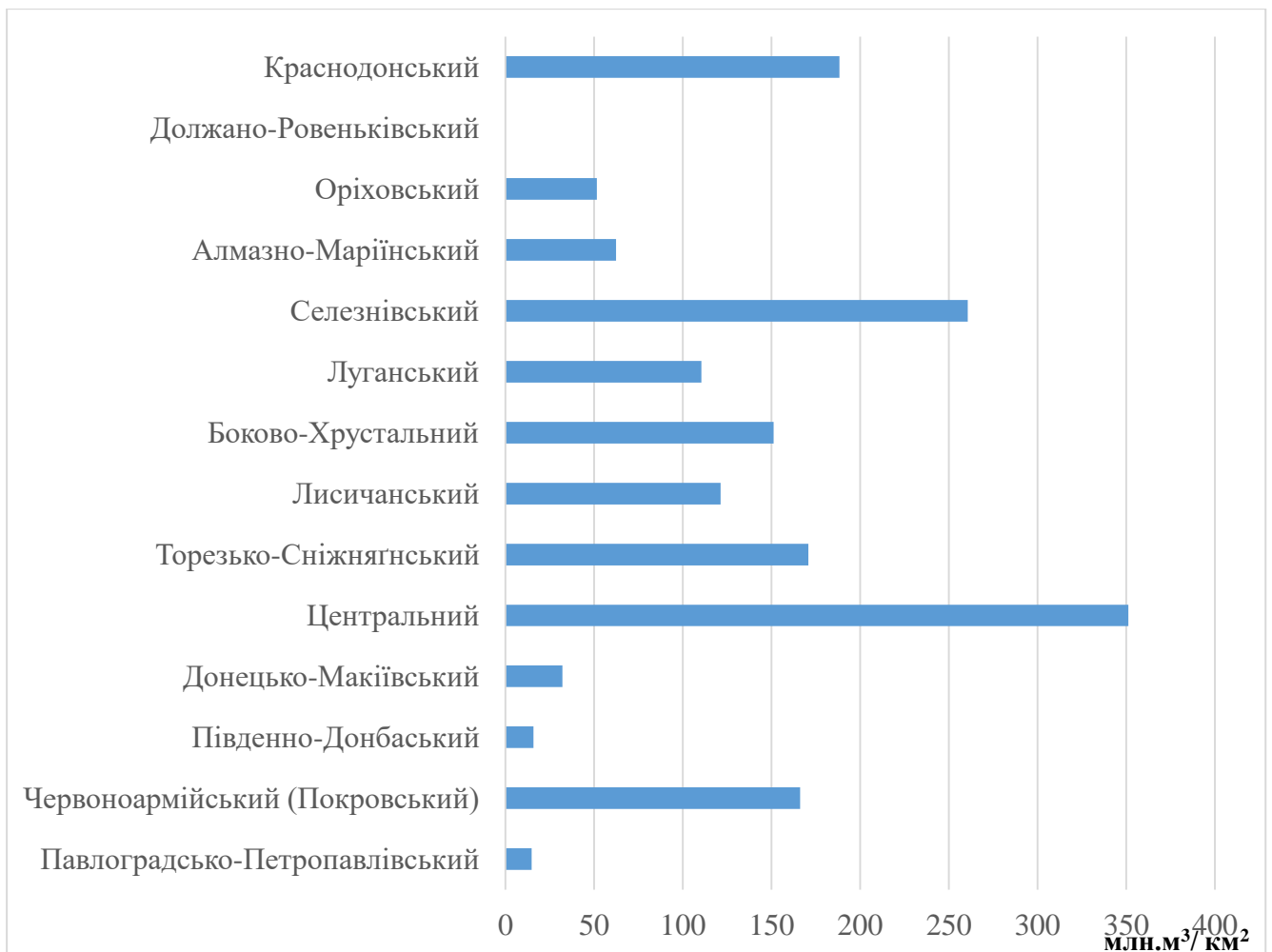


Рис. 4. Розподіл запасів (ресурсів) метану у вугільних пластах у вуглепромислових районах Донбасу

Таблиця 1

Розподіл запасів (ресурсів) метану вугільних пластів по вуглепромислових районах Донбасу (станок на період активних гірничодобувних робіт, 1990р.)

№№ п/п	Назва вуглепромислових районів	Запаси (ресурси) метану вуглепромислових районів Донбасу, млн. м <sup>3</sup> / км <sup>2</sup>		Кількість міст та селищ над гірничими виробками	Кількість шахтних полів в межах вуглепромислових районів
1	Павлоградсько-Петропавлівський	14,7	Малі	0	31
2	Червоноармійський (Покровський)	166,1	Суттєві	27	50
3	Південно-Донбаський	15,8	Малі	2	11
4	Донецько-Макіївський	32,1	Малі	44	47
5	Центральний	351,3	Великі	19	48
6	Торезько-Сніжнягнський	170,8	Суттєві	23	40
7	Лисичанський	121,3	Незначні	16	18
8	Боково-Хрустальний	151,2	Суттєві	31	28
9	Луганський	110,5	Незначні	22	20
10	Селезнівський	260,6	Великі	16	15
11	Алмазно-Маріїнський	62,3	Малі	34	44
12	Оріховський	51,5	Малі	6	4
13	Должанно-Ровеньківський	0	Малі	18	28
14	Краснодонський	188,3	Суттєві	17	29

Таблиця 2

Орієнтовна градація територіального розподілу запасів (ресурсів) метану в межах вуглепромислових районів Донбасу, млн.м<sup>3</sup>/ км<sup>2</sup>

Запаси (ресурс) метану в межах вуглепромислових районів Донбасу, млн.м <sup>3</sup> / км <sup>2</sup>	<100	101÷150	151÷200	201÷250	>251
Масштабна градація	Малі	Незначні	Суттєві	Значні	Великі

Джерело: Мінвуглепром СРСР, 1990, звіт “ Оцінка ресурсів вуглеводневих газів у межах найбільш перспективних для їхнього попутного видобутку шахтних полів та ділянок у геолого-промислових районах Донбасу (1987-1990г.г.)” Кер. теми, д.г.-м.н., проф. Донецького політехнічного інститута А.М. Брижанов, гол. геолог ВО ”Укрвуглегеологія” к.г.-м.н. О.А. Куш, нач. Тематичної експедиції, к.т.н. Б.Ф. Головченко [5]

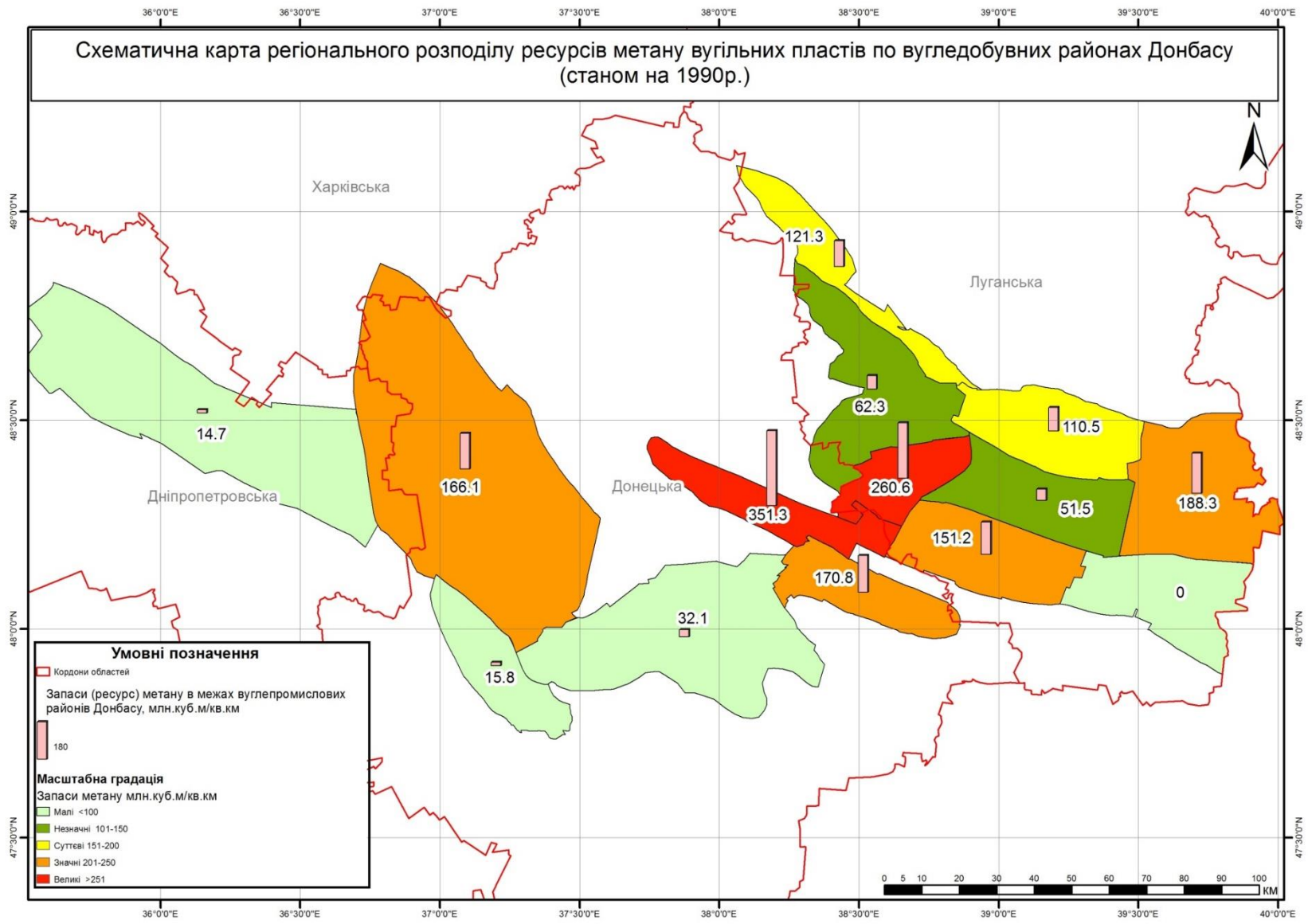


Рис. 5. Схематична карта регіонального розподілу ресурсів метану вугільних пластів по вугледобувних районах Донбасу (станом на 1990 р.)

### **3. Результати обстеження приповерхневих виділень метану на шахтних полях ДП “Первомайськвугілля” (керівник Перепелиця Б.О.)**

Прискорене і, часто, некероване закриття шахт Донбасу внаслідок бойових дій збільшує рівень еколого-техногенних небезпек внаслідок їх переважно місто утворюючого характеру та розташування великої кількості промислово-міських агломерацій (ПМА) та об’єктів критичної інфраструктури (ОКІ) над гірничими виробками.

Крім того, за цих умов в останні роки зростає небезпека збільшення метанового забруднення приземної атмосфери наближених до шахт міст і селищ. Одночасно виконаний аналіз змін режиму і шляхів руху водних і газових флюїдів шахт дозволяє зробити висновок про зростання небезпеки збільшення випадків горіння та вибухів породних териконів внаслідок їх підтоплення та насичення метаном. Слід також враховувати, що за умов регіонального затоплення шахт відбувається збільшення площ ділянок осідання земної поверхні та формування нових шляхів міграції вибухонебезпечного метану, перш за все у містах і селищах, забудова яких розташована над гірничими виробками (рис. 8, 9).

В загальному плані велика кількість діючих шахт Донбасу (на різних етапах гірничо-добувних робіт – до 80%) була небезпечною по виділенню метану у шахтну атмосферу та приземне повітря. Попередній аналіз свідчить, що за умови одночасного впливу зупинки вентиляції шахт, затоплення гірничих виробок та осідання порід висхідні потоки метану можуть набувати збільшення тиску та прискореного виділення у приземну атмосферу міст і селищ, підвали житлових і промислових будівель, канали підземних інженерних мереж (водопровідних, теплоенергетичних і ін.).

У Донбасі, наприклад, при підйомі рівнів ґрунтових вод третина території може бути підтопленою або затопленою. Виконані експертні оцінки засвідчили [1, 2, 6, 7], що це призведе до критичного погіршення екологічного стану значних частин нинішніх територій у межах міст та селищ, враховуючи містоутворюючий характер більшості шахт, та сільськогосподарських земель.

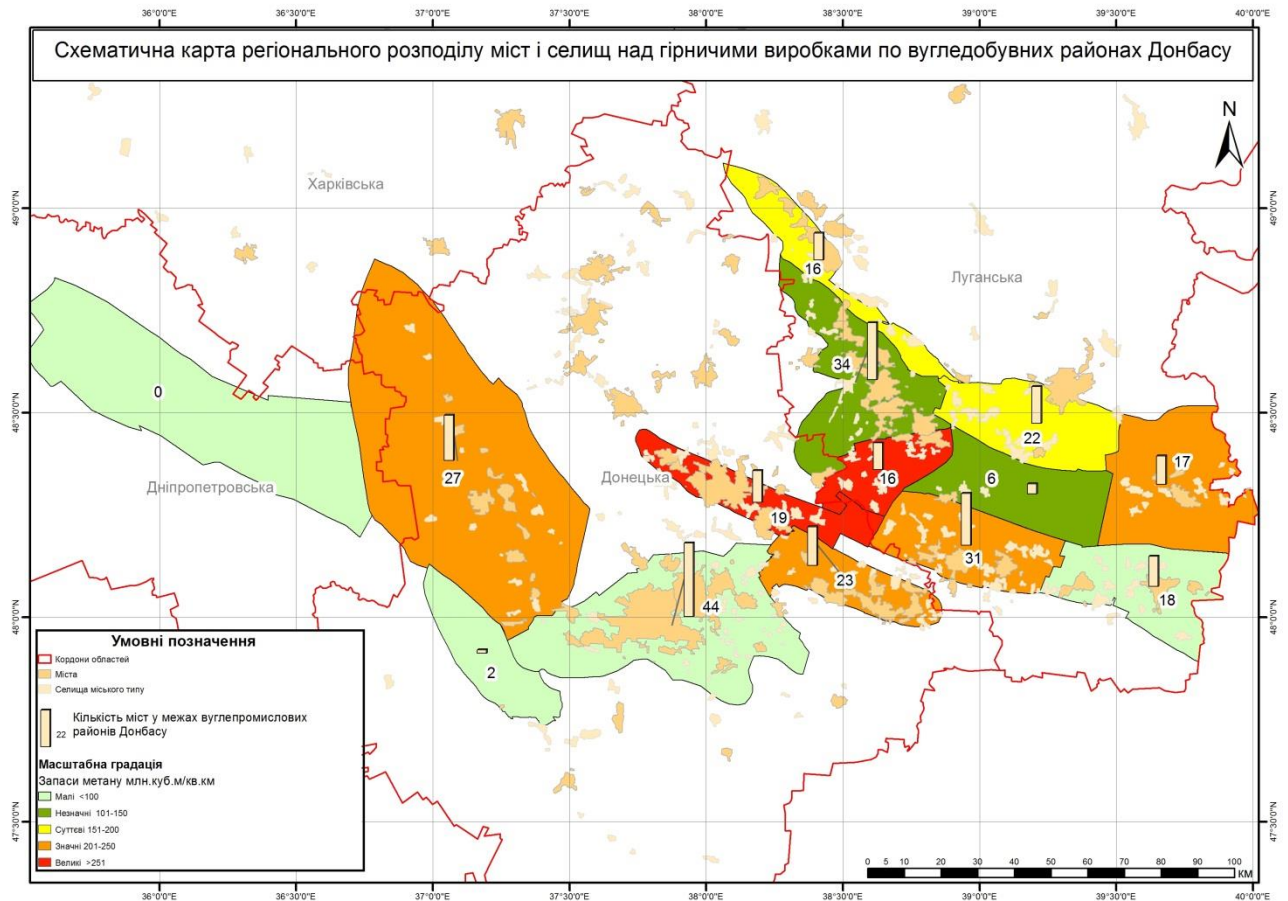


Рис. 6. Схематична карта регіонального розподілу міст і селищ над гірничими виробками по вугледобувних районах Донбасу

Крім того, підтоплення звалищ та їх насичення хімічно активним метаном може призвести до прискорення розчинення і перетікання забруднень та токсичних хімічних елементів та сполук (свинцю, міді, цинку, ртуті, нафтопродуктів та ін.) у поверхневі та підземні водні об'єкти, багато з яких є джерелами питно-господарського водопостачання (за результатами водно-екологічного обстеження у 2016 р. до 88% забруднені).

Вміст метану у виробках не повинен перевищувати встановлених правилами безпеки меж. Зокрема на вихідному струмені очисних, підготовчих виробок і камер — 1 %; те ж для крила шахти — 0,75 %; на свіжому струмені очисних, підготовчих виробок і камер — 0,5 %; місцеві скупчення — не більше 2 % (в Україні).

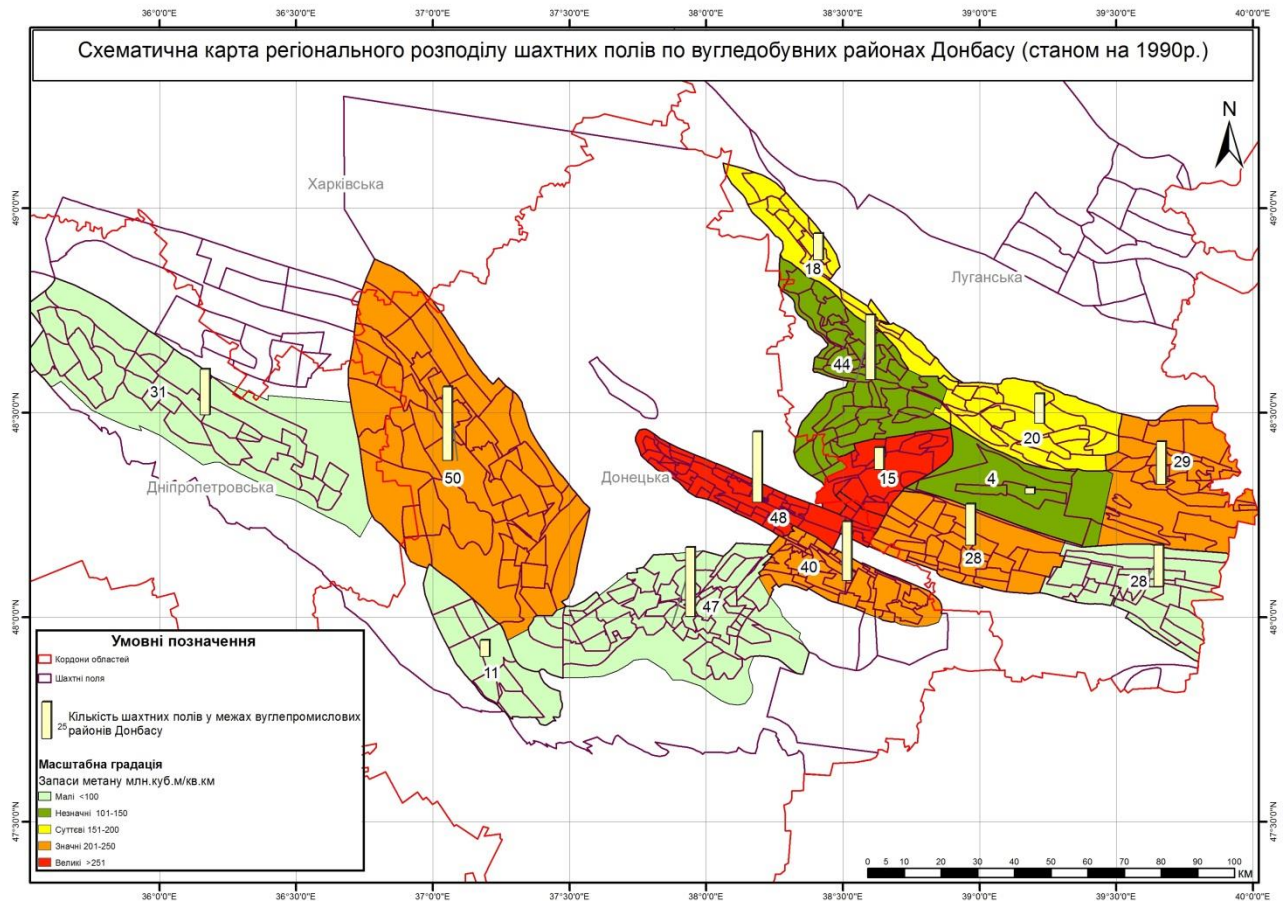


Рис. 7. Схематична карта регіонального розподілу шахтних полів по вугледобувних районах Донбасу (станом на 1990р.).

На сучасному етапі оцінка небезпеки приземних виділень метану переважно виконується по проявам вибухів, спалахів та загибелі людей, що дозволяє дійти висновку про значно більшу кількість ділянок фактичного і потенційного формування зон небезпечного виділення метану.

В цілому провідними факторами критичного надходження вибухонебезпечного метану у приземну атмосферу міст і селищ Донбасу (рис. 8, 9) можна визначити наступні;

- 1) масове затоплення шахт та ліквідація вентиляції гірничих виробок;
- 2) регіональний підйом рівнів підземних вод до земної поверхні з наступним прискоренням руху висхідних потоків метану по проникних зонах тектонічної та техногенної тріщинуватості;
- 3) обмежене промерзання ґрунтів в межах забудованих ділянок. промайданчиків, полігонів відходів та териконів;
- 4) значні коливання атмосферного тиску.



В цілому проблема приземного виділення метану при виведенні шахт із експлуатації є актуальною практично для усіх вугледобувних країн (Німеччина, Англія, Франція, ПАР, Чехія і т.ін.).

Враховуючи вищенаведене, нижче (розділ 4) наводиться виконаний нами експертний аналіз результатів обстеження приповерхневих виділень метану на шахтних полях ДП “Первомайськвугілля” (кер. Перепелица Б.О.), які з 2018 р. знаходяться у стані активного затоплення.

#### **4. Результати обстеження приповерхневих виділень метану на шахтних полях ДП “Первомайськвугілля” (кер. Перепелиця Б.О.)**

Закриття шахт внаслідок бойових дій — не менш серйозна загроза, ніж їхня експлуатація в аварійному стані. Донбас можуть очікувати серйозні еколого-техногенні та соціально-економічні ризики, враховуючи синергетичний вплив на безпеку життєдіяльності як збройних дій російської агресії, так і некерованого затоплення шахт, збільшення метанового забруднення приземної атмосфери наближених до шахт міст і селищ.

Крім того, зростає небезпека збільшення випадків горіння та вибухів териконів внаслідок їх підтоплення та насичення метаном. Слід також враховувати, що за умови регіонального затоплення шахт відбувається збільшення площ ділянок осідання земної поверхні та формування нових шляхів міграції вибухонебезпечного метану, перш за все у містах і селищах, забудова яких розташована над гірничими виробками (рис. 8, 9).

У Донбасі, наприклад, при підйомі рівнів ґрунтових вод третина території може бути підтопленою або затопленою. Виконані експертні оцінки засвідчили [1, 2, 6, 7], що це призведе до критичного погіршення екологічного стану значних частин нинішніх територій у межах міст та селищ, враховуючи містоутворюючий характер більшості шахт. Крім того, підтоплення звалищ може призвести до перетікання токсичних хімічних елементів та сполук (свинцю, міді, цинку, ртуті, нафтопродуктів та ін.) у поверхневі та підземні водні об’єкти, багато з яких є джерелами питно-господарського водопостачання (за результатами водно-екологічного обстеження у 2016 р. до 88% забруднені).

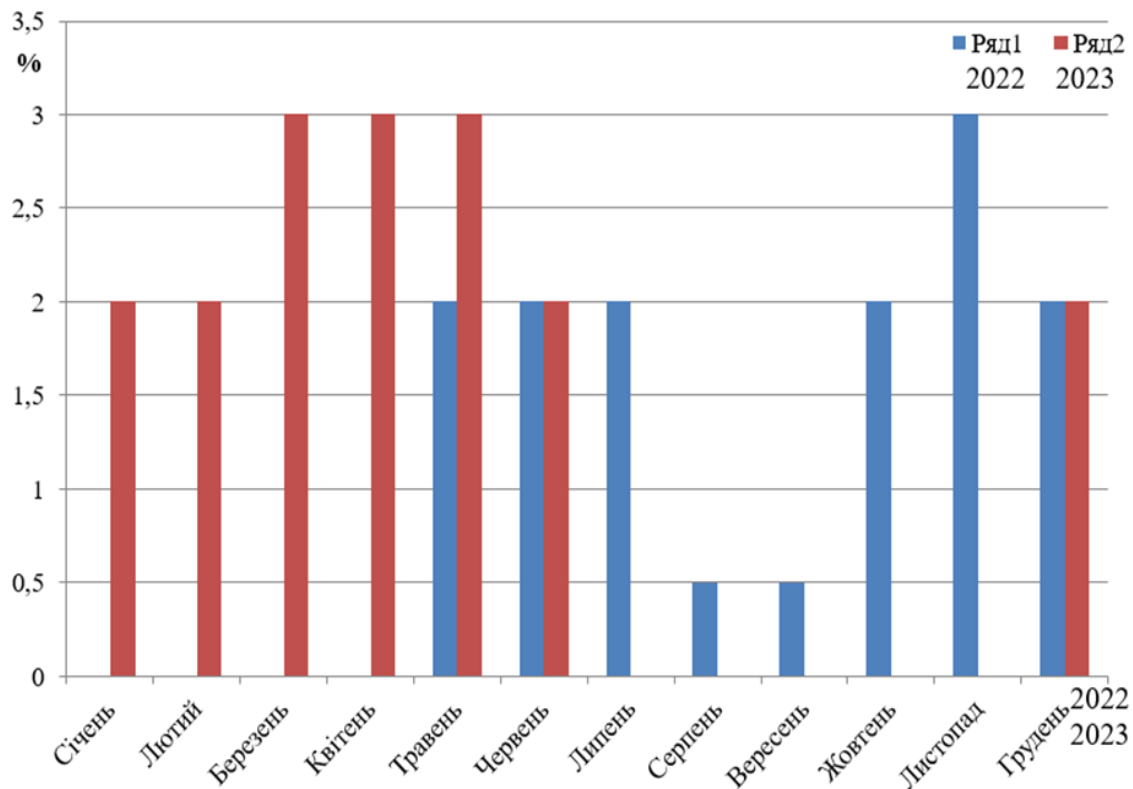


Рис. 8. Зміни концентрацій метану в приземній атмосфері на полі ш."Голубівська" у 2022-2023 рр. (досл. Перепелиця Б.О.)

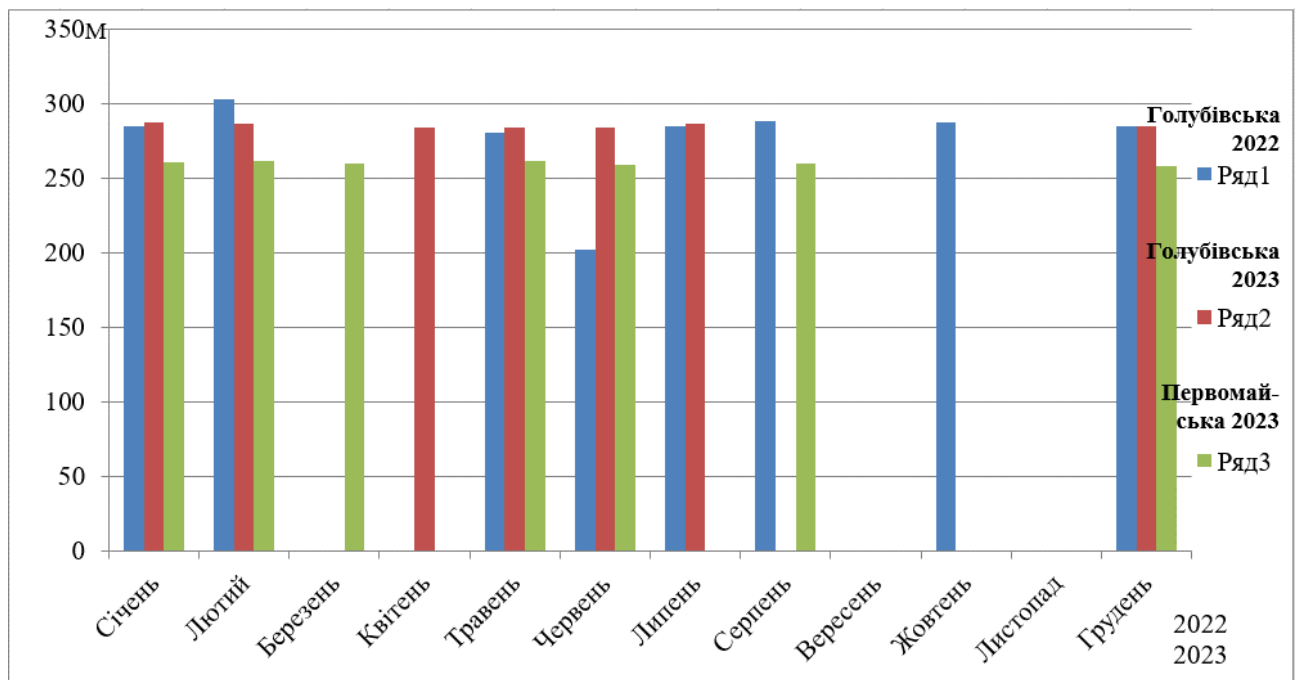


Рис. 9. Зміни глибини рівнів шахтних вод на полі ш."Голубівська" і ш."Первомайська" у 2022-2023 рр. (досл. Перепелиця Б.О.)

Таблиця 3

Результати обстеження еколого-техногенного стану територій впливу затоплення шахт  
 “Первомайськвугілля”(підконтрольної і невідконтрольної території Луганської обл.)

Терміни виконання, об'єкти обстежень	Перелік досліджених факторів та об'єктів							Примітки
	Виділення метану у приземну атмосферу,%	Порушення земної поверхні (тріщини)	Наявність “копанок”, кар'єрів	Поверхневі водні об'єкти	Абс. відмітка устя ствола, м	Глибина шахтних вод, абс. м	Глибина від земної поверхні, м	
15.01.2022, Ш. Голубівська					202.9	-82 (-80 ÷ -88)	284.9	
17.01.2022 м. Стаханов, виходи вугільних шарів		Наявні	Наявні	Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод до 200 м <sup>3</sup> /год				
20.01.2022, м. Первомайськ, ш. Первомайська					170.0	-85 ÷ -92	255-262	
23 -24.01.2022, ш. ”Золота”				Стабільний притоки та скид, шахтних мінералізованих забруднених вод 1300 м <sup>3</sup> /год, у р. Камишеваха				
05.02.2022, ш. Голубівська					202.9	-80 (-81 ÷ -88)	302.9	

07.02.2022 м. Тошковка, ш. "Тошковська"								
08.02.1011, м. Стаханов, виходи вугільних шарів та гірничих виробок				Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод у р. Біленька				
09.02.2022, Заводи "Заря", "Краситель"				Забруднення прилеглих водойм, ґрунтових вод на проммайданчиках				
10.02.2022 Підготовка робочих нарад (Київ, Стамбул, Єреван)								
12.02.2022, м. Первомайськ, ш. "Первомайська"					170.0	-90 ((-85 ÷ -92))	260.0	
14.02,2022, 18.02.2022 ш. "Золота", обстеження водовідливу				Стабільний притока та скид, шахтних мінералізованих забруднених вод 1200-1300 м <sup>3</sup> /год , у р. Камишеваха				

05.05.2022 м. Кіровськ, ш. "Голубівська"		Порушення целиків			202.9	-78, активний Гідралічний зв'язок з ш. "Золота"	280.9	
10.05.2022 м. Кіровськ				Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод у р. Лугань (до 200 м <sup>3</sup> /год,				
14.05.2022 м. Стаханів		Порушення целиків	Наявність "копанок"	Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню та р. Лугань				
18.05.2022 ш. Голубівська	Ризик виділення метану у приземну атмосферу		Наявність "копанок"	Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню	202.9	-49.1 підпір перетоку	252.0	
22.05.2022 Виміри газів в приземній атмосфері шахтних полів Кіровсько- Стаханівського регіону на контрольних вимірних станціях	1-2% (11 вимірів); виділення сірководню у приземну атмосферу			Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню, осадження солей і сульфатних сполук				

05.07.2022 Виміри газів в приземній атмосфері шахтних полів Кіровсько- Стаханівського регіону на контрольних вимірних станціях	0.2-1.0% (10 вимірів); виділення сірководню у приземну атмосферу			Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню, осадження солей і сульфатних сполук				
10.07.2022 Обстеження шахтних полів Кіровсько- Стаханівського регіону, ділянок підтоплення, виходів газу із гірничих виробок				Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню, стік у басейни річок Лозова, Лугань і Біла				
16.07.2022 Обстеження ековпливу скиду вод ш. "Золота" на рельєф				Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню та у р. Камишеваха				
18.07.2022, м. Кіровськ, обстеження рівнів води у ш. "Голубівська",					202.9	-82 (-80 ÷ -88)	284.9	

оцінка впливу на приток у ш."Золота" та пункти водопостачання								
28.07.2022, м. Первомайськ, ш. "Первомайська"					170.0	-92 (-85 ÷ -92)	262.0	
08.08.2022 Обстеження шахтних полів Кіровсько-Стаханівського регіону, ділянок підтоплення, виходів газу із гірничих виробок	0.0-0.05% (10 вимірів); виділення сірководню у приземну атмосферу			Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню, осадження солей і сульфатних сполук				
12.08.2022 Обстеження шахтних полів Кіровсько-Стаханівського регіону, ділянок підтоплення, виходів газу із гірничих виробок				Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню, осадження солей і сульфатних сполук				
17.08.2022 Обстеження шахтних полів Кіровсько-								



Стаханівського регіону, ділянок підтоплення, виходів газу із гірничих виробок								
20.08.2022 м. Кіровськ, обстеження рівнів води у ш."Голубівська", оцінка впливу на приток у ш."Золота" та пункти водопостачання					202.9	-86 (--80 ÷ -88)	288.9	
29.08.2022, м. Первомайськ, обстеження шахт, виходів пластів, провалів поверхні, витоків води на поверхню	Виділення сірководню у приземну атмосферу							
Жовтень 2022р. Обстеження 4 шахтних полів "Стахановвугілля", ш. "Золота", ш "Голубівська"	Виділення метану (25 замірів- від 0 до 2%) і ін. газів у приземну атмосферу , 4	Обстежено 5 провалів поверхні		Витоки шахтних мінералізованих забруднених вод на поверхню, осадження солей, забруднення колодязів на полі	202.9	ш."Голубівська" -85 (-80 ÷ -86)	287.9	

	місця займання, горіння териконів і породних відвалів			ш. "Золота"				
--	----------------------------------------------------------------------	--	--	-------------	--	--	--	--

Примітка: Вміст метану у виробках не повинен перевищувати встановлених правилами безпеки меж. Зокрема на вихідному струмені очисних, підготовчих виробок і камер — 1 %; те ж для крила шахти — 0,75 %; на свіжому струмені очисних, підготовчих виробок і камер — 0,5 %; місцеві скупчення — не більше 2 % (в Україні).

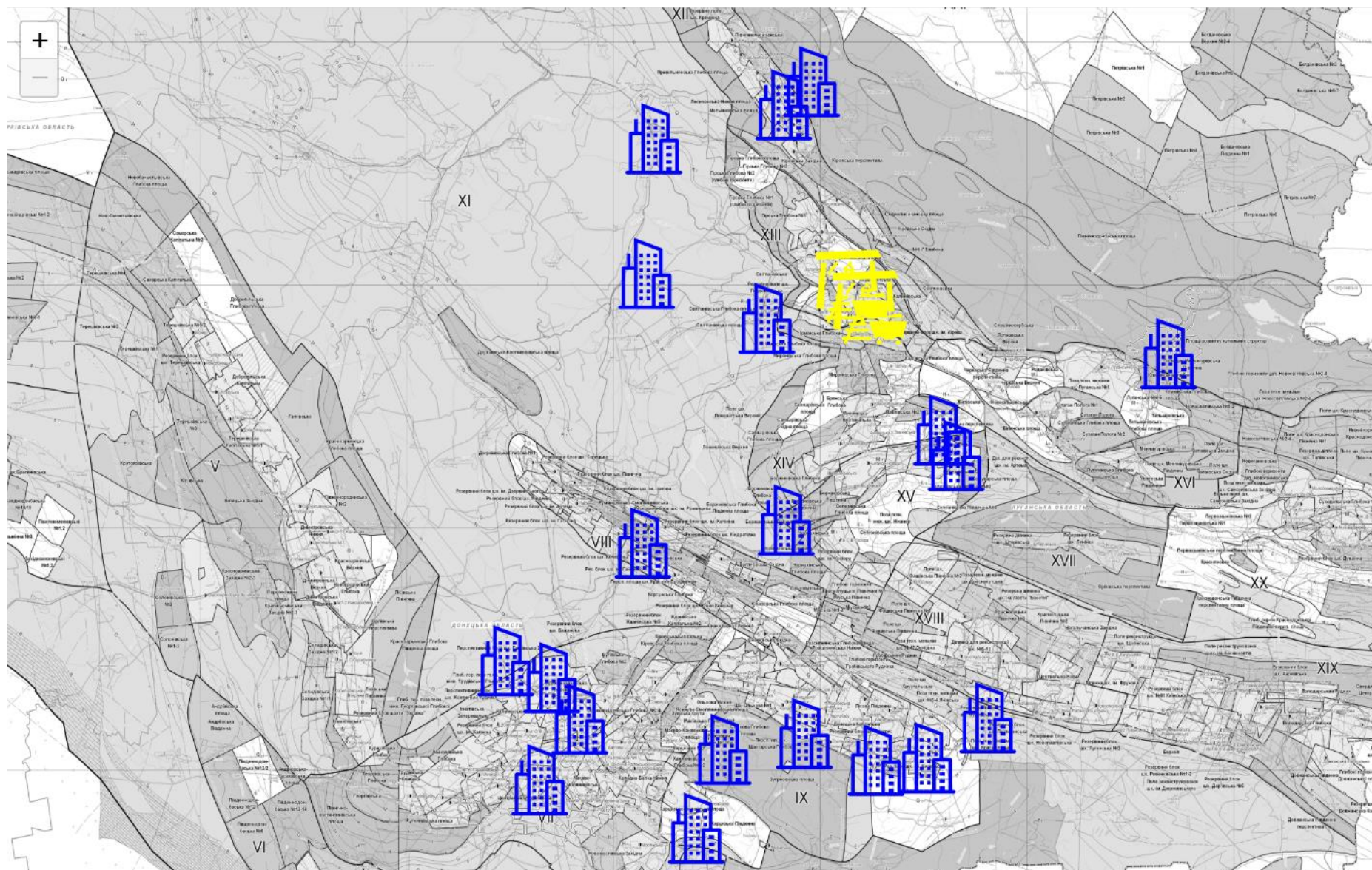


Рис. 10. Первомайський вуглепромисловий район

Сьогодні, наприклад, у Німеччині та, особливо, в Англії після закриття шахт фахівці здійснюють управління рівнями підземних вод (тобто утримують їх на екологічно безпечних глибинах). Для цього створюються дренажні свердловини, що відкачують, і залишається частина шахт для водовідливу, що сприяє їх вентиляції та зменшенню виділень метану у приземну атмосферу на територіях забудови. В Україні також усе це передбачено у проектній документації, проте в реальних умовах метанозахисні заходи практично не використовуються при виведенні шахт із експлуатації.

Так, наприклад, у Стаханові через півроку після виведення шахт з експлуатації та їх некеруємого затоплення відходу відбувся вихід на поверхню шахтних вод та затоплення житлових масивів. Крім кількох десятків га орної землі було підтоплено кілька тисяч приватних будинків та кілька десятків висоток. Крім того, підйом рівнів шахтних вод сприяв прискоренню руху по високопроникним тріщинуватим зонам вибухонебезпечного метану та його накопиченню у підвалах житлових будинків. Відомо близько 30 випадків опіків мешканців будинків шахтним газом унаслідок некомпетентної консервації шахтних об'єктів.

В цілому численні шахти з великою просторово розподіленою мережею гірничих виробок і зон техногенної тріщинуватості є складною динамічною водо-газофільтраційною системою. Тому ігнорування факторами формування водних і метанових потоків при виведенні поодиноких або угруповань норм шахт здатне обернутися комплексом водно-екологічних, інженерно-геотехнічних та газогеохімічних загроз і небезпек на об'єктовому, територіальному та регіональному рівнях.

## **5. Нові потенційні небезпеки приповерхневого виділення метану у підґрунті вуглепородних відвалів (териконів)**

На території України існує 1220 відвалів вугільних шахт. В Донбасі зосереджено 1185 териконів, з яких 397 горять. Загальна площа, яку вони складають, досягає 80,0 км<sup>2</sup>, в т.ч. в Донбасі – 72 км<sup>2</sup>. Під час самонагрівання одна тонна вугільних відходів може утворювати 0,84 кг SO<sub>2</sub>, 0,61 кг H<sub>2</sub>S, 0,03 кг NO<sub>x</sub>, 99,7 кг CO та 0,45 кг диму. Щороку один породний відвал викидає в атмосферу 15000 т CO<sub>2</sub> та 5000 т CO [8, 16-18]. Виділений пил пошкоджує центральну нервову та кровоносну системи, нирки, печінку та сприяє розвитку раку. Крім цього постійного впливу, під час експлуатації териконів можуть статися великі катастрофи на кшталт вибуху вугільного породного відвалу у місті Димитрів (нині Мирноград) у 1966 році в Донбасі.

Приблизно 50 % газу, що викидається з териконів, становить метан, вуглекислий газ становить близько 45 %, а решта складається з азоту, кисню, водню та інших газів, зокрема радону, який призводить до онкологічних хвороб. Потенціал глобального потепління метану становить 21 за 100-річний період [9]. Це означає, що в перерахунку на кілограм за 100-річний період метан в 21 раз сильніше, ніж вуглекислий газ, спричиняє зміни клімату.

### **Рекомендації щодо удосконалення структури екологічного моніторингу вуглепородних відвалів (териконів) за умови приповерхневого виділення метану.**

За результатами проведеного аналізу, було виявлено, що єдиними державними документами, що регламентують правила експлуатації вуглепородних відвалів є:

1. Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом (наказ від 18.03.2010 № 61 державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду);

2. Правила безпеки у вугільних шахтах (наказ від 22.03.2010 № 62 Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду).

Згідно з п 8.5.6 Правил безпеки у вугільних шахтах, для запобігання, контролю і гасіння пожеж на вугільних породних відвалах, встановлено перелік необхідних для виконання дій, прописані формули розрахунку механічної захисної зони відвалу, визначено в часових рамках терміни перевірки териконів та визначено їх класифікацію відповідно до температури.

Проте жодних відомостей про засоби для визначення геофізичних параметрів терикону не вказано. Також має місце занадто стисле формулювання моніторингу породного відвалу. На державному рівні не існує методичних рекомендацій з екологічного моніторингу териконів та визначення складу пов'язаних з його експлуатацією природно-техногенних небезпек. Не існує також чіткого регламенту для засобів, якими проводиться моніторинг.

Так, наприклад, тепловізійним обстеженням породних відвалів займаються приватні підприємства. Згідно п 8.5.6 Правил безпеки у вугільних шахтах, на діючих відвалах, що горять, виміри температур проводяться тричі на рік (травень, липень, вересень). На недіючих відвалах, що горять, виміри температури проводяться один раз на рік (серпень, жовтень).

Результати робіт з обстеження приповерхневих виділень метану на шахтних полях “Первомайськвугілля” (керивник Перепелица Б.О; розд.4, табл. 4, рис. 5, 6) засвідчили, що за умови регіонального затоплення шахт частота і площа газомета нових вимірів повинні бути суттєво збільшені, особливо в межах міст і селищ та проммайданчиків біля об’єктів критичної інфраструктури.

В цілому результати виконаних (2022-2023р.р.) експресних атмо-метанових досліджень, не зважаючи на їх попередній характер, свідчать, про нагальну необхідність удосконалення моніторингу та оцінки впливу на навколишнє середовище породних відвалів за умови регіонального затоплення шахт та збільшення приземних виділень метану.

Так, наприклад, загальний моніторинг вугільного терикону в Польщі включає:

- перевірку п'єзометрів, завдяки чому вимірюється глибина залягання ґрунтових вод (зокрема для підземних вод), і фізико-хімічні випробування цих вод відповідно до виду відходів, що зберігаються на відвалі;
- моніторинг дренажних вод, що полягає у фізико-хімічних дослідженнях стічних вод та вимірюванні їх об'єму під час відбору проб для фізико-хімічних досліджень;
- контроль змін якості поверхневих вод під впливом відвалу, що складається з фізико-хімічних випробувань води та вимірювання їх об'єму під час відбору проб для фізико-хімічних досліджень;
- вимірювання кількості опадів – за допомогою дощоміра;
- моніторинг газоподібного середовища (СО, СО<sub>2</sub>, О<sub>2</sub>) та теплового стану поверхні та внутрішньої частини відвалу;
- моніторинг просідання поверхні відвалу геодезичними методами, які виконуються уповноваженими особами, на основі встановлених орієнтирів;
- моніторинг стійкості схилу відвалу – геотехнічними методами.

Часові рамки проведення моніторингу за стандартами Польщі в цілому схожі з нашими вітчизняними, однак в даному випадку за кордоном має місце більше приділення уваги на моніторинг повітряного та водного середовищ, а також рівня опадів (див. табл. 4).

Моніторинг у межах вищезгаданого діапазону частот слід продовжувати щонайменше 5 років. Якщо після закінчення цього періоду отримані результати випробувань показують, що відвал не впливає на навколишнє середовище, то орган, що контролює звалище, може подати заяву про зменшення частоти випробувань за різними орієнтовними параметрами, але не рідше ніж раз на два роки, а в разі електролітичної провідності не рідше одного разу на рік.

## Часові інтервали проведення моніторингу териконів в Польщі

№	Назва вимірювань	Частота вимірювань
1	Рівень поверхневих вод	Кожні 6 місяців
2	Склад поверхневих вод	Кожні 6 місяців
3	Рівень дренажних вод	Кожні 6 місяців
4	Склад дренажних вод	Кожні 6 місяців
5	Рівень ґрунтових вод	Кожні 6 місяців
6	Склад ґрунтових вод	Кожні 6 місяців
7	Рівень газових викидів	Кожні 6 місяців
8	Склад газових викидів	Кожні 6 місяців
9	Вивчення рівня опадів	Кожного дня
10	Моніторинг просідання поверхні звалища	Раз на рік
11	Моніторинг стабільності схилів	Раз на рік

Згідно методології Сілезького гірничого інституту, оцінка пожежної небезпеки породного звалища заснована на зміні температури поверхні відвалу, та вмісту окису вуглецю всередині відвалу. Передбачається чотири основні термічні умови:

❖ *Відсутність самовільного нагрівання відвалу:*

➤  $t < 3 \text{ } ^\circ \text{C}$

➤  $\text{CO } 0,002\% \text{ од.}$

$t$  - різниця температур між поверхневою температурою звалища і температурою навколишнього середовища,

$\text{CO}$  - концентрація оксиду кисню у зразку газу, взятому зсередини відвалу.

❖ *Мимовільне нагрівання:*

➤  $3 \text{ } ^\circ \text{C} < t < 10 \text{ } ^\circ \text{C}$

➤  $0,002\% \text{ об. } < \text{CO} < 0,015\% \text{ од.}$

❖ *Невелика інтенсивна пожежа:*

➤  $10 \text{ } ^\circ \text{C} < t < 20 \text{ } ^\circ \text{C}$

➤  $0,015\% \text{ об. } < \text{CO} < 0,05\% \text{ од.}$



❖ *Інтенсивна пожежа:*

➤  $t > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

➤  $\text{CO} > 0,05\% \text{ од.}$

Для попередження (мінімізації) виникнення негативних явищ і процесів пов'язаних з териконами, необхідно проведення постійного їх геоекологічного контролю, активізації в їх межах та прилеглих територіях рекультиваційних робіт. Ефективність вирішення проблем територій вуглевидобувної галузі, зокрема процесів горіння териконів і відвалів, ефективно може здійснюватися на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Контроль теплового стану відвалів може виконуватися наступними засобами:

1. *Фотозйомка.* В даний час використовується інфрачервона аерофотограмметрія низької висоти - один з найпопулярніших методів збору термічних даних. Супутникова зйомка та зондування БПЛА дозволяє ефективно вирішити проблеми вугледобувної галузі з приводу процесів горіння териконів і відвалів.

2. *Тепловізійне обстеження пірометром.* Термографічна зйомка проводиться за допомогою тепловізорів. Температурна зйомка породних відвалів проводиться у відповідності вимогам пунктів 7.2. та 7.3. «Інструкції із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів»

3. *Свердловинний моніторинг.* У даному способі в масив відвалу за допомогою буріння на глибину встановлюють вимірювальні прилади для безперервного моніторингу теплових параметрів.

4. *Радіоактивний метод.* Осадкові породи містять радіоактивні елементи, такі як уран ( $^{92}\text{U}235$ ,  $^{92}\text{U}238$ ), торій ( $^{90}\text{Th}232$ ). Ці радіоактивні елементи виділяють  $\alpha$  -частинки під час розпаду. Під час цього процесу вони перетворюються на радон ( $^{86}\text{Rn}222$ ,  $^{86}\text{Rn}220$ ,  $^{86}\text{Rn}219$ ) з періодом напіввиведення від 3,96 сек до 3,825 днів. Виміряна концентрація  $\alpha$  -частинок залежить від температури, тобто якщо температура вища, транспортування  $\alpha$  -частинок вище.

5. *Вимір опору*. Опір породи обчислюється за допомогою кількох електричних полюсів шляхом вимірювання опору в Омах (Ом) на метр та порівняння їх із стандартним значенням. За нормальних умов опір осадової породи становить 600-800 Ом/м, але у випаленій породі вона зростає до 1200-3000 Ом/м, через високу пористість, тріщини та низький вміст води.

Слід відмітити, що готової методології комплексного моніторингу пожежної безпеки териконів Донбасу немає, тому постає необхідність проведення наукової роботи і винайдення ефективної системи їх екологічного моніторингу.

### **Оцінка можливості використання дистанційного зондування з супутника для моніторингу пожежно-вибухової небезпеки вугільних породних відвалів**

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — спостереження поверхні Землі авіаційними (літаки, гвинтокрили, БПЛА) і космічними засобами (супутники), спорядженими різноманітними видами знімальної апаратури.

Застосування ДЗЗ для моніторингу пожежно-вибухової небезпеки вугільних породних відвалів за умови сучасного збільшення надходжень метану у приземну атмосферу внаслідок регіонального затоплення шахт у всіх вуглепромислових районах Донбасу (розділи 3, 4) може стати доцільною альтернативою діючим засобам через низку факторів.

**По-перше**, звичайні пожежні сповіщувачі (зазвичай це автоматизовані системи протипожежної сигналізації) не зовсім годяться за рядом причин: велика площа необхідного покриття, необхідність технічної підтримки, спеціалізованість і покрити ними велику площу лісу чи терикону неможливо та недоцільно. Однак завдяки IoT стало можливе створення системи, що буде шляхом збирання даних від сенсорів сповіщати відповідні служби про надзвичайну ситуацію навколо потенційно-небезпечного об'єкту.

**По-друге**, у таких місцевостях найпоширенішим методом виявлення пожеж є контактний метод (коли особи, що перебувають безпосередньо біля місця пожежі інформують ДСНС про горіння). Процес займає дорогоцінний час

і не факт що інформатор перебуватиме саме на початку займання, а не в момент, коли пожежа почне ширитись.

Інша, принципово відмінна, група методів збирання інформації ґрунтується на даних дистанційного зондування Землі, яке здійснюється за допомогою БПЛА, літаків або штучних супутників Землі. Супутники дистанційного зондування Землі можуть розміщуватися як на геліостаціонарній орбіті (сканують Землю двічі на день), так і на геостаціонарній орбіті, на якій період сканування може становити 2,5 хв [2].

Серед позитивних факторів наявні наступні:

1) Економічна ефективність.

На відміну від інших способів спостережень (використання БПЛА, тепловізійне обстеження пірометром), у даному випадку відсутня необхідність постійно перебувати поблизу місця пожежі. Для початку моніторингу можна обрати будь-яке місце, встановити обладнання та вести спостереження з однієї позиції скільки завгодно часу.

2) Масштабованість.

Можливості фотоелектронної апаратури супутників, зокрема зондів NASA, дозволяють охопити всю країну, або її вагому частину, на відміну від інших методів, де потрібне постійне спостереження за потенційно-небезпечним об'єктом.

Серед негативних факторів наявні наступні:

1. Складність розробки програмного забезпечення.

Виявляти пожежі на знімках вручну – марне рішення. Для програмного забезпечення необхідно проведення розрахунків: варто взяти до уваги низку факторів для досліджень. Для прикладу можна взяти обчислення для виявлення пожеж на супутникових знімках серії Landsat, ASTER.

Навіть часткове сонячне світло значно порушує отримані значення температури [18].

2. Неточності алгоритму виявлення пожеж:

По-перше, мінімальна потужність викиду тепла для його фіксації термосканером супутника становить 0,2 МВт (200 кВт). Тобто багаття, розведене на полі, система не зафіксує.

По-друге, фіксуються лише інфрачервоні хвилі, виділені в напрямку до супутника. Тому тління сміттєзвалищ, торфовищ, териконів, горіння підстилки лісу сенсори супутника будуть фіксувати далеко не завжди.

По-третє, фіксуються викиди тепла лише в момент прольоту супутника над територією. Так, супутник NOAA 20 робить повний оберт навколо Землі раз на 101.44 хвилини і гарний сигнал можна отримати в той час, коли супутник високо над горизонтом. Цей час для України настає о 03:47 і 13:22 і тримається на протязі 10 хвилин, тому існує необхідність заздалегідь готуватися до сеансу зв'язку.

### **Аналіз використання дистанційного зондування з БПЛА для моніторингу пожежно-вибухової небезпеки вугільних породних відвалів.**

Як показує практика, БПЛА або ДПЛА є доволі універсальним засобом для вирішення різноманітних задач. Війна на Донбасі черговий раз доводить що залучення сучасних апаратів даної категорії при використанні відповідного програмного забезпечення суттєво збільшує ефективність багатьох видів моніторингу.

Для виконання спеціальних завдань, зокрема для аерофотозйомки газометанових та теплових потоків вуглепородних териконів як пожежовибухонебезпечних об'єктів, БПЛА і ДПЛА доцільно розглядати в сукупності з його оснащенням і корисним навантаженням, для чого введений термін «безпілотна авіаційна система» (БАС). До корисного навантаження для задач аерофотозйомки належить цифрова фотокамера, як доповнення можуть використовуватися відеокамера, тепловізор, інфрачервона камера.

На покладається завдання моніторингу температурного та газового стану (пожежного режиму) терикону. Оскільки комплекс вугільного відвалу займає порівняно-невелику площу (розмір терикону складає  $< 0.37 \text{ км}^2$ ) [18], то

найбільш економічно-вигідним та ефективним буде використання БАС середнього радіусу дії.

Серед позитивних факторів використання БАС виділяють наступні [11]:

- невелику висоту зйомки – від 10 до 200 метрів для отримання надвисокого розрізнення та газо-теплової чутливості (одиниці й десятки долі сантиметра) на місцевості;
- точковість – можливість детальної зйомки невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови;
- мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БАС легко транспортуються легковими автомобілями (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів;
- високу оперативність – весь цикл, від виїзду на зйомку до одержання результатів, займає декілька годин;
- екологічну чистоту польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище.

До негативних факторів використання БАС відносяться:

- локальний масштаб застосування – у порівнянні з дистанційним зондуванням за допомогою супутника, знімальна апаратура якого охоплює всю країну або її частину, ДПЛА може охопити лише одну ділянку за той же проміжок часу.
- економічний фактор - з іншого боку виділяти на кожен терикон БАС є зовсім програтною ідеєю в економічному плані, якщо додати в категорію витрат оплату праці оператора ДПЛА.

**Аналіз використання методу свердловин для моніторингу пожежно-вибухової небезпеки вугільних породних відвалів.**

Метод свердловин є по суті модифікованим за допомогою ІоТ (ІоТ) методом стандартного вимірювання температури на глибині 0,1; 0,5; 1,5 та 2,5м

за схемою, наведеною в рис. 11. (див. рис. 11. до п. 7.2. «Інструкції...»). Модифікація полягає у збільшенні глибини взяття ґрунтових проб для термічного аналізу та встановлення додаткових модулів збирання та передачі даних. Взаємодія між пристроями відбувається засобами радіозв'язку різного діапазону частот. Найбільш ефективним в плані коефіцієнту корисної дії (ККД) за витратами енергії\передачею пакетів є радіоканал на ультра коротких хвилях – УКХ, який застосовують в інтернеті речей.

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – концепція, що описує мережу об'єктів – «речей», в яку включені пристрої, програмне забезпечення, датчики та інші технології з метою підключення та обміну даними з іншими пристроями та системами за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку мережі Інтернет. Основною відмінністю від «людського Інтернету» є мала потужність, адже пристроям не потрібні відео чи зображення, натомість для виконання команд їм необхідні двійкові коди та сигнали, які з легкістю передаються короткими хвилями каналу радіозв'язку. Одним із можливих варіантів рішення проблеми палаючих териконів є використання системи датчиків, поєднаних на базі IQRF.

IQRF – це платформа для низькошвидкісного, малопотужного, надійного та легкого у використанні бездротового підключення (RF - радіоканал), наприклад, для телеметрії, промислового контролю та автоматизації будівель. Його можна використовувати з будь-яким електронним обладнанням. Ми маємо можливість застосовувати його, коли необхідна бездротова передача інформації, напр. дистанційне керування, монітор, сигналізація, відображення віддалено отриманих даних або підключення більшої кількості пристроїв до бездротової мережі. IQRF — це повна екосистема одного бренду, що включає апаратне забезпечення, програмне забезпечення, підтримку розробки та послуги. Мережу IQRF можна легко підключити до Інтернету через хмарний сервер. IQRF ідеально підходить для впровадження IoT.

Параметри IQRF:

1. РЧ діапазони: у всьому світі ISM 433 МГц, 868 МГц і 916 МГц;
2. На основі модулів приймачів із вбудованою операційною системою (ОС);

3. Повністю відкрита функціональність залежить виключно від конкретного користувача програми, написаної мовою C;
4. Пакетно-орієнтований зв'язок, макс. 64 В за пакет;
5. Діапазон до кількох сотень метрів на стрибок, до 240 стрибків на пакет;
6. Дуже низьке енергоспоживання: 380 нА в режимі очікування, 25 мкА на прийомі;
7. Низька швидкість передачі даних: 19,2 кб/с. Попередньо: 1,2 кб/с, 57,6 кб/с і 86,2 кб/с.

Не можна не бачити позитивних аспектів використання технології IoT, адже IoT дозволяє користувачам отримувати дані пристроїв і використовувати їх для виконання того чи іншого завдання, наприклад для діагностики обладнання у важкодоступних місцях. В даному випадку такий підхід дозволяє скоротити кількість виїздів людей, заощадити гроші і одночасно знизити ризик отримання травми.

Водночас найбільшою негативною стороною використанні IoT є проблема конфіденційності. Існує вірогідність, що ваші дані можуть бути використані не за призначенням.

Іншою не менш негативною стороною є різні стандарти IoT. Наприклад IEEE & ISO/IEC. Якщо пристрої різних виробників використовують різні стандарти, взаємодія буде складнішою, вимагаючи додаткових шлюзів для переведення з однієї норми до іншої.

Таким чином, проаналізувавши всі наявні в нас дані, ми можемо прийти до висновку що не існує ідеальних готових варіантів. Кожен метод моніторингу має переваги в своїй конкретній області застосування та недоліки в інших. Даний факт спонукає нас до створення власної методології, яка б увібрала в себе всі позитивні риси попередніх методів для виконання поставлених нами цілей.

## **6. Розробка інформаційної системи моніторингу метану (параметрів навколишнього середовища) в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Донбасі**

### **Аналіз стану автоматизації екологічного моніторингу метану.**

Стан автоматизації моніторингу може різнитися на кожному окремому підприємстві, але зазвичай є достатнім для подальшого функціонування. Однак, варто зазначити, що такий стан відповідний лише для верхніх рівнів структури підприємства. На даний момент не існує (або в кожного підприємства існує власна) системи, яка б підвищувала ефективність та швидкість моніторингу териконів. Натомість керівник вимушений покладатися на підручні засоби та результати аналізів: щупи для занурення в землю та перевірки температури, засоби вимірювання температури (пірометр), прогноз погоди, тощо.

Автоматизація процесу моніторингу териконів обумовлена наступними потребами:

1. Відсутність єдиної системи протипожежної безпеки в шахтах та на териконах. За відсутності рішення, проблема буде розвиватися й надалі.

2. Скорочення часу виявлення пожеж з використанням методології інформаційних систем та новітнього обладнання – швидкість виявлення осередків запалювання зростає на порядок. Більше того, існує реальна можливість утворення автономної протипожежної системи сповіщення.

3. Мінімізація збитків – легше запобігти пожежам, аніж розбиратися з наслідками. Згідно документу Міністерства вугільної промисловості України №290 22.05.2006 року, впродовж 2005 року роботи з гасіння велись тільки на 26 відвалах, на що витрачено 13,78 млн. грн. З того часу дані про пожежі не сильно розголошуються, однак сигнали про пожежі в 2016 (нижній ярус терикону Центральної збагачувальної фабрики "Червоноградська"), 2017 (палаючий терикон на Сокальщині) та навіть у 2020-2021 внаслідок бойових дій на Донбасі.

Тепер ми можемо впевнено сказати, що у даному випадку рівень автоматизації підрозділу теплового моніторингу недостатній. З підвищенням



рівня автоматизації підвищиться ефективність у роботі керівника та спеціалістів.

### **Виявлені проблеми**

Ми можемо бачити що основним недоліком у процесі проведення теплового обстеження породного відвалу є відсутній (або вкрай низький) рівень автоматизації. Якщо звернутись до того ж документу планової температурної зйомки породного відвалу шахти «Родинська», наданої відповідно до Договору №20/ОП-20 від 25 березня 2020 р. згідно з Додатком №1 до Договору №20/ОП-20 від 25 березня 2020 р., то ми можемо побачити що за протоколом засідання технічно-економічної ради було проведено обговорення щодо ефективності проведення моніторингу. ВП «Стандарт» ДП «Мирноградвугілля» відмовилося укласти договір у зв'язку з небезпечними умовами для проведення робіт. У зв'язку з чим було обрано іншого виконавця теплового обстеження за демонстраційними матеріалами. Це свідчить про неоднорідний ступінь підготовки підприємств до умов моніторингу. Кожне з них має свої методи та засоби, які часто не охоплюють всю глибину проблеми або їхня ефективність ставиться під сумнів. Впровадження інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Донбасі ефективно вирішить проблеми вугледобувної галузі з приводу процесів горіння териконів і відвалів: впровадження методології Інтернету речей (ІоТ) підвищить ефективність, швидкодію та економічну ефективність моніторингу.

### **Розробка структурної схеми**

Під час аналізу можливих варіантів побудови інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Донбасі було прийнято рішення побудови універсальної системи моніторингу для роботи як з радіозв'язком, так і з мережею Wi-Fi.

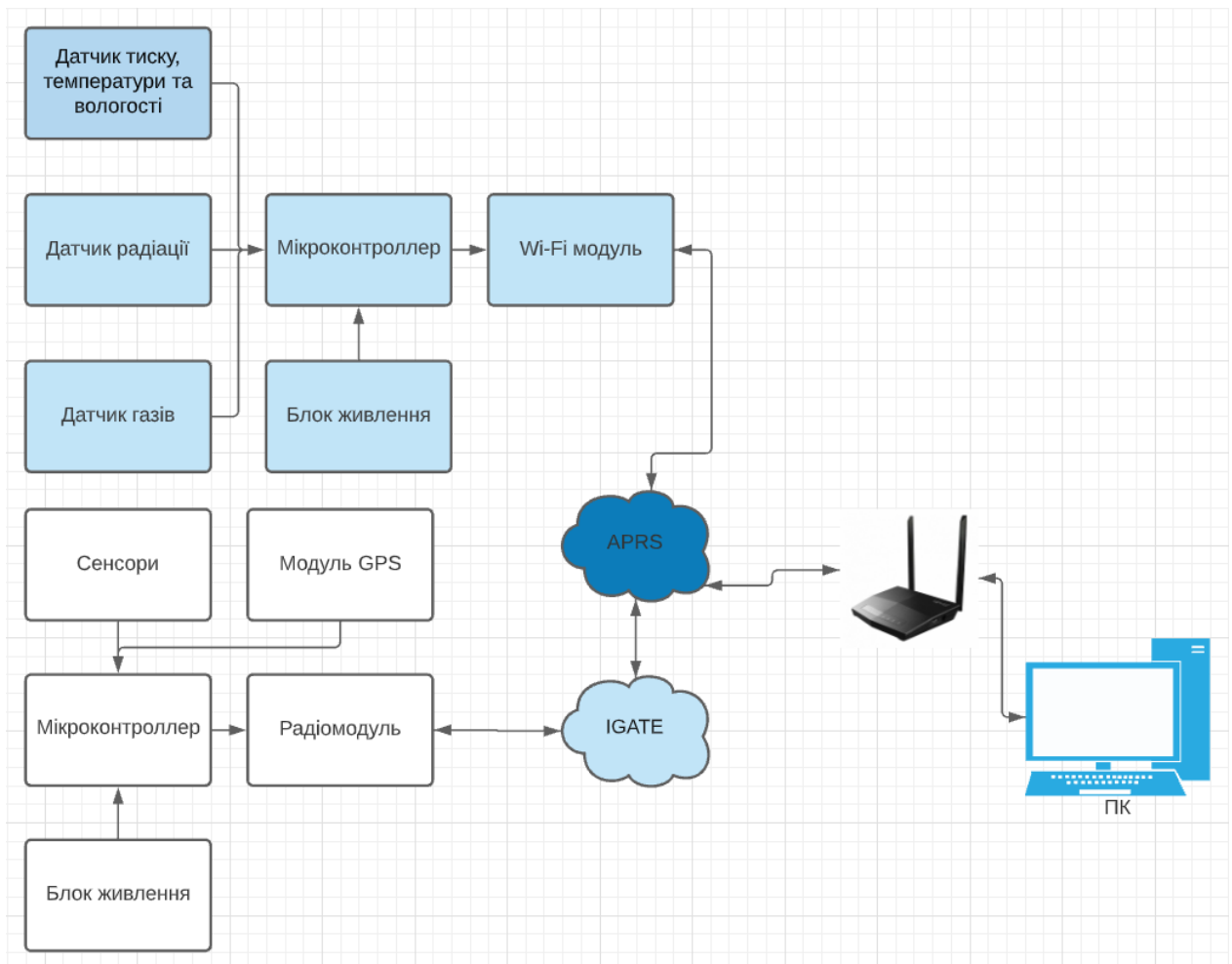


Рис. 11. Структурна схема програмно-апаратного комплексу інформаційної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища.

### Вимоги до інформаційної системи

Система має працювати по безпроводовому каналу, а отже повинна мати достатню зону покриття для зв'язку пристроїв і/або використовувати зону покриття інших мереж (в тому числі і Wi-fi для зв'язку та передачі даних).

Система повинна залишатися довгий час без підзарядки, а це вимагає низької напруги живлення (до 5В).

Апаратну частину системи необхідно зробити компактною, а ціна комплектуючих має бути розумною.

### Склад системи

Для використання Wi-fi мережі цілком підійде NodeMcuV3 модуль Wi-Fi або Ethernet Shield. ESP8266 і буде основним мікроконтролером.

MQ135 чудово підійде для виявлення небезпечних газів, оскільки хоч і не настільки потужний для точного виявлення вмісту речовин, однак у 10, а то і 20 разів дешевший за найпотужніші аналоги.

BME280 здатен вимірювати тиск, температуру та вологість, а отже буде важливим для моніторингу насичення вологою повітря в шахті, температури всередині терикону та на складі готової продукції. При необхідності може бути замінений на інші модулі для виконання окремих задач.

Датчик радіації SBM-20 слугуватиме запорукою здоров'я шахтарів під час роботи та буде попереджувати про високий вміст радіонуклідів.

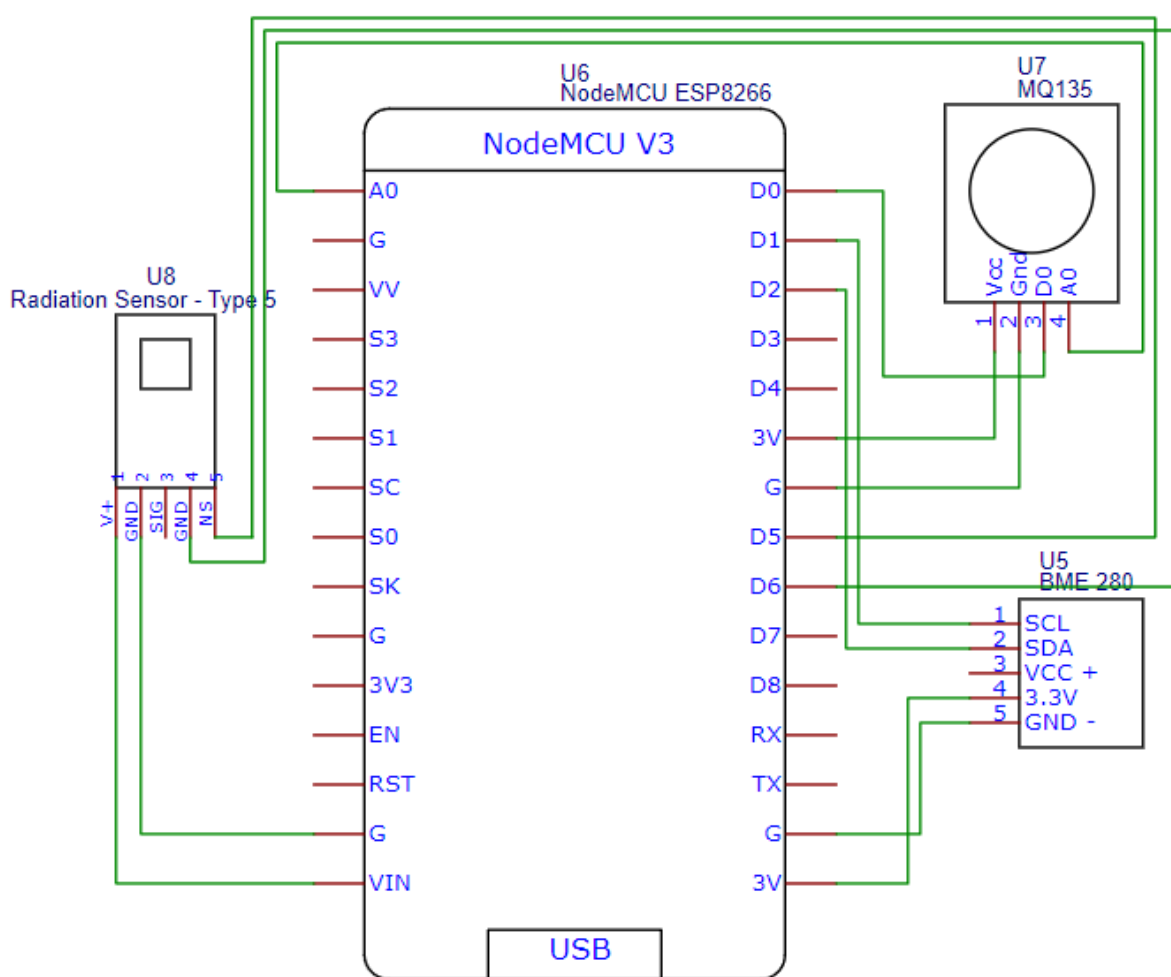


Рис. 12. Принципова схема Wi-Fi модулю IGATE.

Для використання радіо зв'язку доцільно взяти радіо модуль SI4463.

Плата Arduino Nano V3 з мікроконтролером ATmega328 дозволить забезпечити систему автономним керуванням процесами збору та передачі даних при достатній кількості живлення.

Для позиціонування у просторі, на відміну від мережі інтернет, має необхідність використання GPS трекера, на кшталт NEO-6M.

Інші компоненти залишаються незмінними.

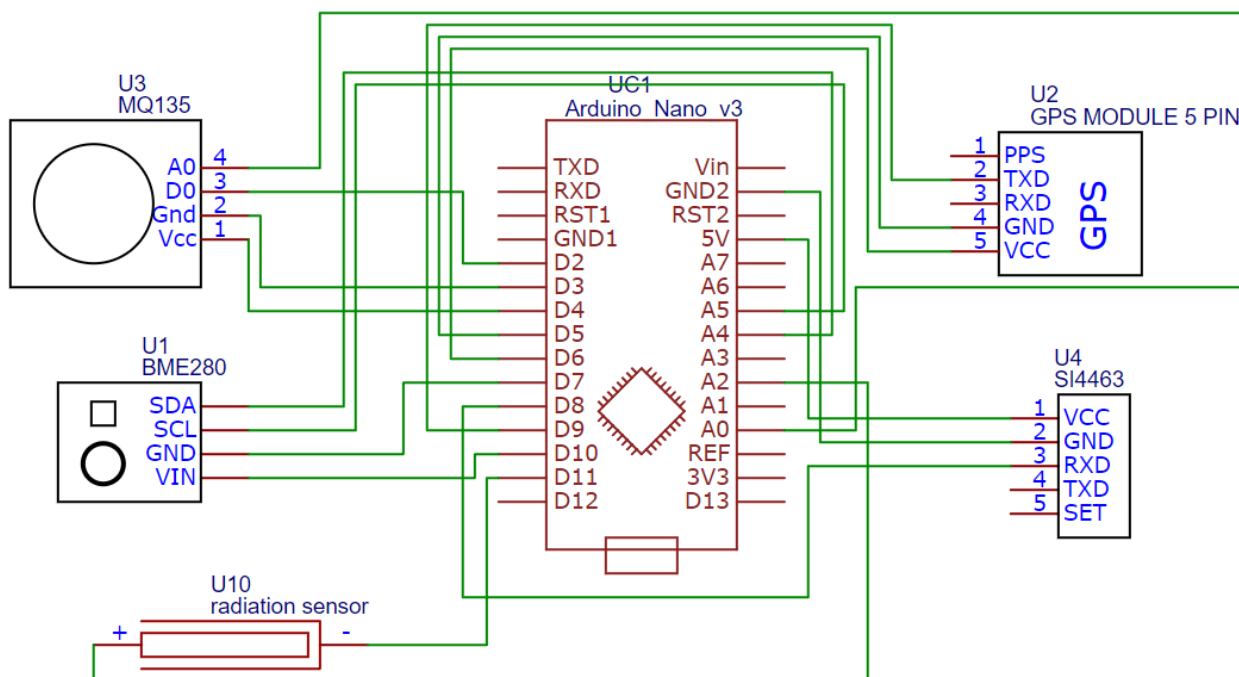


Рис. 13. Принципова схема радіомодулю.

Для зручності digital піни плати Arduino Nano були перенаправлені на ті ролі, яких не вистачало (живлення, цифровий ввід, заземлення). Це ще одна перевага ATmega328.

### Реалізація на UI-View та APRSdroid

Не зважаючи на вагомі переваги LoRaWAN, найефективнішим засобом передачі даних для інформаційної системи є APRS.

Варто доповнити матеріал у попередньому розділі деталями.

По-перше, APRS це не просто протокол зв'язку, а маловідома мережа. Низька популярність диктується декількома причинами, однією з яких є складність, а інша – відсутність потреби. Складність є складністю лише для пересічного громадянина, який навіть не подумає використовувати давню частоту для передачі даних у світ. Рації давно були витіснені смартфонами, але саме це і робить унікальним даний варіант зв'язку. Іншою складністю є відсутність потреби, тобто такому ж пересічному громадянину в голову вкрай

рідко приходять на рівному місці побудувати метеостанцію. Для контакту з громадянською мережею APRS не обов'язково використовувати рацію. Існує безліч варіантів інтеграції на TTN, LORA та ін. Покриття радіозв'язку цілком достатнє.

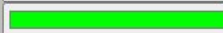

Centre Site	tpov	
Antenna Height (m above ground)	20	65.62 ft
Antenna Type	Omni	
Antenna Azimuth (°)	0	
Antenna Tilt (°)	0	
Antenna Gain (dBi)	6	
Mobile Antenna Height (m)	20	65.62 ft
Mobile Antenna Gain (dBi)	2	
Description		
Frequency (MHz)	928	
Tx power (Watts)	0.1	20.00 dBm
Tx line loss (dB)	3	
Rx line loss (dB)	0.5	
Rx threshold (µV)	0.2	-120.98 dBm
Required reliability (%)	70	
Strong Signal Margin (dB)	10	
Strong Signal Color		
Weak Signal Color		
Opacity (%)	50	
Maximum range (km)	100	62.1371 mi
Rendering	High resolution	
Use land cover	<input checked="" type="checkbox"/>	
Use terrain	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рис. 14. Налаштування параметрів покриття.

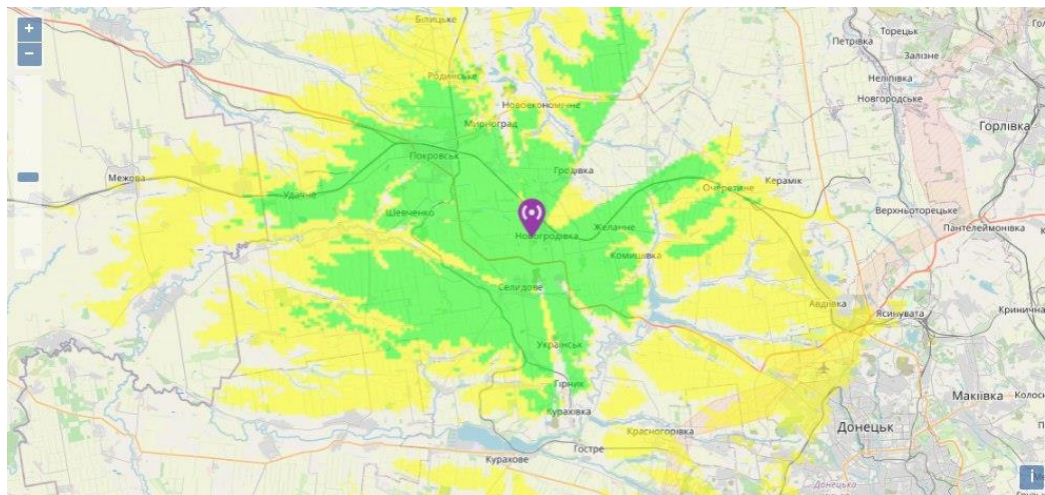


Рис. 15. Мапа якості радіо-зв'язку для умовного Si 4432 радіомодуля.

По-друге, радіозв'язок взагалі не обов'язковий, адже налаштувати підключення через інтернет не складає зайвих труднощів.

По-третє, широка інтеграція APRS не тільки на мікроконтролери, а й на звичні нам персональні комп'ютери та смартфони.

Для початку роботи як на ПК, так і смартфоні необхідно провести процедуру реєстрації власного позивного.

Для мобільних телефонів існує програмне забезпечення під назвою APRSdroid, яке можна придбати в плей-маркеті або ж отримати безкоштовно на сайті розробника.

Геолокація та координати можуть визначатися як сторонніми програмами, так і звичайними картами google.

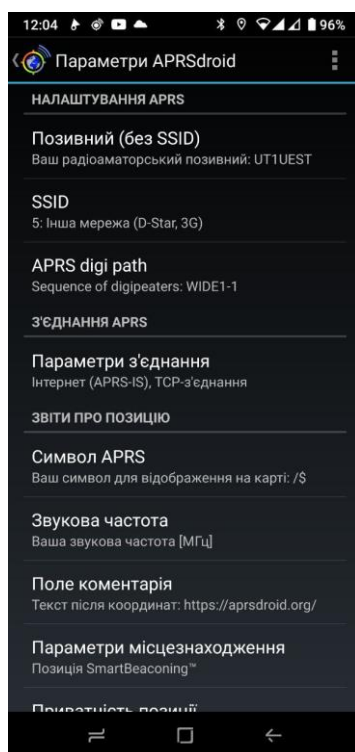


Рис. 16. Налаштування APRSdroid

У кінцевому результаті ми отримуємо карту станцій з можливістю взаємодіяти з ними: дізнаватися їх місцезнаходження, тип; надсилати та отримувати повідомлення; бачити дані з датчиків (наприклад погодних з метеостанцій), які працюють на станції-ретрансляторі.

Іншим варіантом є використання персонального комп'ютера. На даний момент існують лише два засоби взаємодії з APRS через ПК: UI-View32 та QAPRS.

**UI-View32** — це клієнт APRS, який працює на Windows . Ця програма відрізняється від більшості програмного забезпечення APRS тим, що вона не призначена лише для використання з ТНК у термінальному режимі. UI-View також підтримує TNC в режимі KISS, режимі хоста AGWPE і режимі хоста BRQ. 32-розрядна версія UI-View також підтримує режим хоста WA8DED/TF і його варіант, який використовується в SCS PTC-II і PTC-III. Підтримка режиму хоста означає, що UI-View можна використовувати з широким спектром пакетного обладнання та дозволяє використовувати до 16 РЧ-портів.

Він може працювати як повнофункціональний внутрішній інтелектуальний digipeater з TNC в режимі KISS і з модифікацією файлу UI-View2.INI, підтримує нові налаштування WIDEn-N і має повну підтримку для підключення до серверів APRS в Інтернеті і працює як IGate або Internet Gateway.

UI-View використовує растрові зображення для своїх карт. Крім того, 32-розрядна версія має повну підтримку атласу компакт -диска Precision Mapping від Undertow Software версії 5 або 6 , що дозволяє збільшити масштаб до рівня вулиці в будь-якій точці США. Їхня версія 7 також підтримується PMapServer7 , модифікованим Біллом Діасом KC9XG. Завантажте PMapServer . Precision Mapping 8 може використовувати PMapServer 7. Користувачі новішої версії Precision Mapping 9 повинні використовувати PMapServer 9.

QAPRS - даний проект розробляється з метою самовдосконалення в області програмування протоколів пакетних мереж, закріплення навичок розробки крос платформних продуктів на базі c++ і QT4. Проект розробляється як функціональний аналог програмного продукту UI-View і його додатковий функціонал, наданий різними плагінами.

Для доступу в мережу необхідно пройти процедуру реєстрації на сайті розробника та ознайомитись з кодексом радіолюбителів на сайті [aprs.org](http://aprs.org).

Інтерфейс UI-View32 являє собою мінімальний набір елементів для комфортної роботи.

Для початку роботи необхідно пройти авторизацію та завантажити свіжий перелік станцій.

Після вибору серверів ми маємо повний доступ до функціоналу: надсилання та отримання повідомлень, перегляд пакетів, огляд станцій і т.д.

Обмін пакетами досить цікава річ. Пакети відсилаються в реальному часі без можливості перевірити чи прийшло, чи ні.

Будь-яка станція APRS може вручну повідомляти про позицію об'єкта APRS (наприклад, інша станція або погодне явище). Це призначено для ситуацій якщо суб'єкт господарювання не може звітувати про свою власну позицію.

### **Реалізація на ESP8266**

ESP8266 матиме змогу входити в мережу APRS через IGATE, тобто через мережу Wi-fi пристрій авторизується на сервері та починає отримувати і надсилати пакети іншим пристроям.

Після збірки апаратної частини була завантажена прошивка на плату NodeMCU1 Esp8266 та проведена калібровка датчику Bmp280.

Використавши позивний університету НУХТ UT4UYF, пристрій авторизувався в мережі та почав транслювати дані з датчику та свою геолокацію.



Рис. 17. Експериментальна модель станції.

На основі всіх проаналізованих даних ми можемо скласти алгоритм проведення моніторингу небезпечних речовин терикону, та оточуючих шахтних територій, користуючись максимальним рівнем ефективності та безпеки. Дана схема зображена в на Рис. 18.



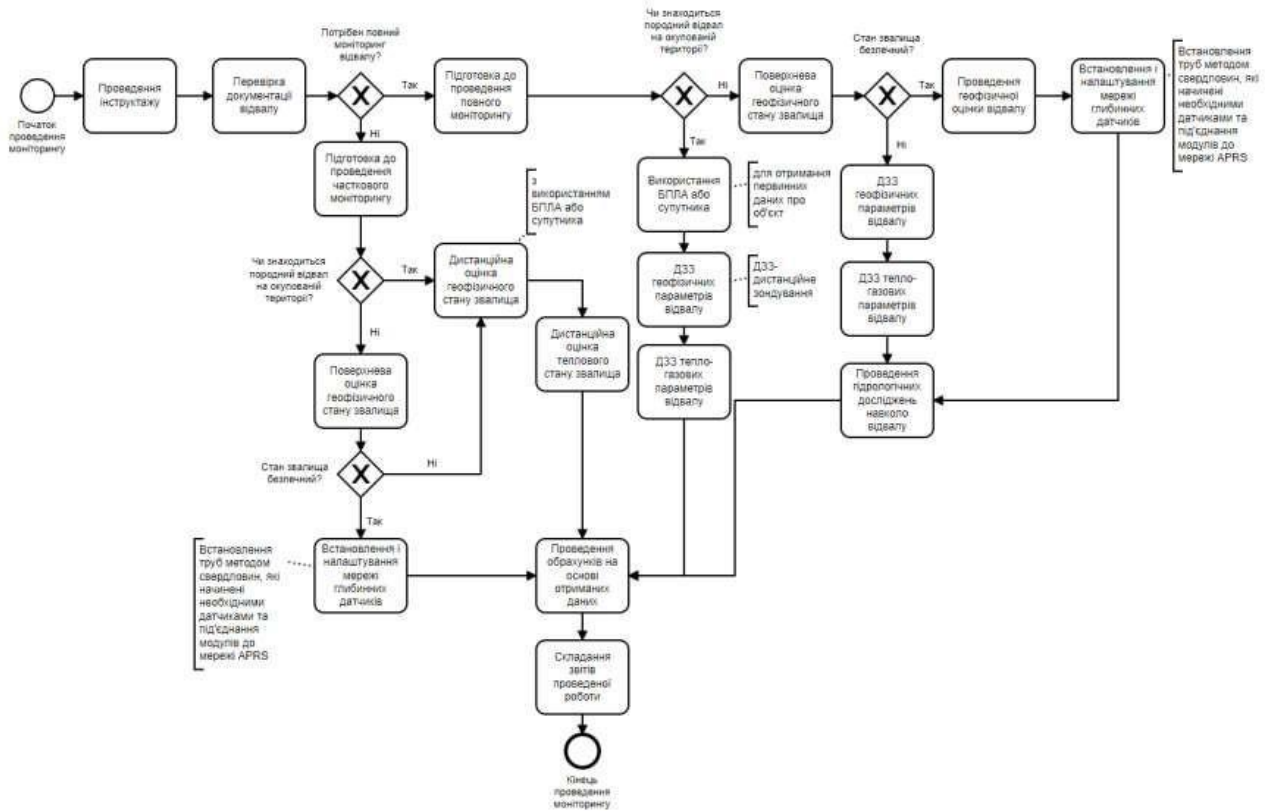


Рис. 18. Алгоритм проведення моніторингу небезпечних речовин терикону.

Створено експериментальний програмно-апаратний комплекс з використанням технологій радіозв'язку та IoT.

Визначено стан екологічного моніторингу на території ОРДЛО і детально проаналізовано методи та засоби проведення моніторингу. Обрано засоби для проведення задач екологічного спостереження згідно їх слабким та сильним сторонам.

Досліджено методи та засоби передачі даних і обрано оптимальний спосіб зв'язки пристроїв для максимальної ефективності екологічних досліджень. Вперше розроблено програмно-апаратний комплекс моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Донбасі з використанням технологій IoT, що відповідає вимогам автономності, надійності та мобільності із застосуванням безпроводних сенсорних мереж і безпілотних літальних апаратів.

Створено алгоритм моніторингу небезпечних речовин терикону, та оточуючих шахтних територій: встановлено критерії оцінки геофізичних якостей породних відвалів та перелік необхідних дій і матеріалів. У результаті

удосконалено інформаційну технологію передачі масиву вимірної інформації через радіоканал ультракоротких хвиль, а також дістала подальший розвиток ГІС технологія відображення даних про стан параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних об'єктів на Донбасі.

## **7. Концепція менеджменту шахтних вод в Німеччині, як модель для закриття шахт в Україні**

Війна в Україні призвела до прямого впливу бойових дій на усі екологічні складові довкілля, у тому числі на поверхневі і підземні води, оскільки значно збільшилися ризики виникнення аварійних ситуацій на вугільних підприємствах, що розташовані поблизу лінії зіткнення. Проте основна небезпека пов'язана з можливістю забруднення навколишнього середовища внаслідок аварії та неконтрольованого затоплення суміжних шахт на територіях, що не контролюються Урядом України.

Понад 35 шахт регіону затоплюється або вже повністю затоплені та не підлягають подальшій експлуатації. Частина пошкоджених або зупинених шахт на Донбасі було демонтовано [19]. Така ситуація є основною причиною потенційного забруднення підземних та поверхневих вод при їх контакті з шахтними водами, котрі забруднені, зокрема, залізом, хлоридами, сульфатами, іншими мінеральними солями й важкими металами.

Неконтрольоване затоплення шахт несе в собі величезну небезпеку. Підйом рівня шахтних вод до критичних відміток спричинить незворотні зміни у масивах гірських порід, внаслідок чого відбуватиметься підтоплення територій, просідання денної поверхні, активізування обвалів, зсуви ґрунту тощо. Шахтні води окислюються, насичуються металами, оскільки все обладнання, яке колись існувало під час гірничих робіт, залишилось там, у шахтах. Тож при контакті з залізобетонними конструкціями відбувається процес насичення шахтних вод небезпечними сполуками. Найбільшу ж небезпеку несе просідання поверхні, яка викликає деформацію фундаментів та руйнування споруд.

Сучасні проблеми екологічного стану навколишнього природного середовища навколо вугільних шахт України стосуються порушення екосистем та природних територій, руйнування промислових та екологічно небезпечних об'єктів, забруднення джерел питної води, земельних ресурсів, атмосферного повітря, порушення геологічного середовища тощо. Серед негативних наслідків, які супроводжують процеси закриття шахт, найбільш значущими є

погіршення гідрогеологічного стану територій їх розташування. Це підтверджується як національним досвідом ліквідації шахт у різних регіонах України та і досвідом в інших країнах. Варто відзначити, що розробка родовищ кам'яного вугілля призводить до змін у водообміні і гідрохімічному режимі підземних вод на території, котрі значно перевищують площі гірничих робіт.

До початку військових дій всі басейни знаходились на тому етапі розвитку, коли обсяги видобутку вугілля зменшувались, значна кількість шахт припиняла розробку запасів вугілля і ці шахти перебували у стадії ліквідації. Ці обставини призвели до суттєвої зміни природно-техногенних умов, які сформувались в результаті впливу на природні компоненти розробки вугільних родовищ [20].

Враховуючи, що значна частина шахт східного регіону затоплюється, то вже зараз необхідно переймати досвід успішної реструктуризації інших країн, а особливо Німеччини.

Після припинення субсидованого видобутку кам'яного вугілля та закриття шахт в Німеччині залишаються вічні завдання, які, у першу чергу, пов'язані з водою, включаючи відкачування шахтної води, наземні польдерні заходи, а також очищення шахтних вод та моніторинг шахтних вод. Ці питання були погоджені у 2007 році в договорі між фондом RAG і федеральними землями Саар і Північна Рейн-Вестфалія, де знаходяться найбільші вугільні родовища. При цьому RAG AG зобов'язалася розробити та технічно впровадити оптимізовану концепцію поводження з шахтними водами відповідно до розділу 4, параграфу 2 контракту. Завдання Вищого Гіртехнадзору (Oberbergamt) включають перевірку та затвердження цього процесу.

При закритті шахт стикаються з комплексом технічних, соціальних та екологічних проблем. Одним із головних питань технічного профілю є питання управління шахтними водами. Шахтна вода – це дощова вода, яка просочується крізь землю та розчиняє мінерали чи інші речовини, присутні в породі. Неконтрольоване затоплення та підняття рівня шахтних вод включають наступні ризики: прориви шахтної води в сусідні шахти, виливи шахтних вод та

витоки метану на денній поверхні або в підвалах будинків; підняття поверхні землі і ризику пошкодження будівель чи інфраструктури внаслідок осідання/підйому ґрунту; небезпека обвалів або підземних поштовхів, ризику для стабільності породних відвалів, хвостосховищ та їх дамб, заболочування місцевості і забруднення джерел питної води.

Довгострокова концепція управління шахтними водами була розроблена для всіх трьох кам'яних вугільних регіонів RAG AG (Рурська область, Саарланд, Іббенбюрен). Були враховані регіональні відмінності з точки зору географії, рельєфу та мережі підземних виробок.

У Рурській області, наприклад, затоплення контролюється таким чином, що існує достатньо велика відстань між шахтними водами та водоносними горизонтами, які використовуються в розкривних породах. Щоб у разі потреби можна було впливати на шахтні води, передбачені резервні свердловини для аварійного відкачування. А при запланованому підтопленні завжди забезпечується відповідна відстань до джерел питної води (150 м). Підйом шахтної води зупиняється на певному рівні за допомогою насосів і викачується на поверхню у вибраних місцях.

Необхідно розуміти, якої кількості та якості шахтні води будуть поступати в короткостроковій та довгостроковій перспективі. Питання про можливі заходи з очищення води, а також загальний вплив шахтної води на навколишнє середовище відіграють важливу роль.

При цьому для всіх колишніх гірничих площадок були розроблені індивідуальні проекти подальшого використання. Діапазон цього подальшого використання різноманітний, починаючи від об'єкта всесвітньої спадщини Zollverein до житлових районів і промислових об'єктів.

Одним із найважливіших елементів поточної концепції управління шахтними водами RAG є те, що шахти мають затоплюватися контрольованим способом. Висота встановлення насоса має бути якомога нижчою, тобто має бути якомога коротшою відстань, на яку має перекачуватися вода, тому системи водовідливів повинні бути перетворені на «системи колодезного типу» з сучасними глибинними насосами. Функціонування водовідливів «колодезного

типу» подібне до садових колодязів, обладнаних насосами: у шахтних стовбурах, які RAG раніше заливала бетоном, опускають занурювальні насоси з поверхні через спеціальні труби-кожухи до рівня шахтної води. Занурювальний насос складається з насосно-моторного агрегату. Разом обидва агрегати мають довжину близько дванадцяти метрів і важать до 20 тон. Два насоси, розташовані один над одним і в протилежних напрямках, створюють тиск (**Ошибка! Источник ссылки не найден.9, Ошибка! Источник ссылки не найден.0**).

Відкачування води буде відбуватися з поверхні. Це усуває потребу в підземних машинних відділеннях і вентиляції, що призводить до економії витрат і енергії та скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

Оскільки шахти гідравлічно з'єднані під землею і їх можна розглядати як одну одиницю, вони об'єднані у водні провінції. За допомогою спеціальної Vox-моделі програмного забезпечення DMT GmbH&Co. KG розраховується, у якому місці найбільш вигідно зробити центральний водовідлив «колодязного типу», який буде відкачувати воду відразу з декількох шахт.

**Вох-модель** – це тривимірна програма для моделювання напрямку та швидкості потоку шахтних і підземних вод, включаючи температуру, розчинені речовини та хімічні реакції. Програмне забезпечення дає змогу дискретизувати різноманітні простори потоків, визначати гнучку кількість каверн і гідрозв'язків, а також відображати турбулентні потоки. Модель вже використовувалася в проектах у Німеччині, Іспанії, Франції, Англії, Польщі, Болгарії, ПАР та Україні.

*Концепція управління ресурсами Рурського басейну водними.* Шахтна вода в Північній Рейн-Вестфалії скидається в Рурському регіоні у річки Рейн, Ліппе, Рур і Емшер, в районі Іббенбюрен у річку Емс (Рисунок 21). Об'єм шахтних вод що скидаються у поверхневі водні об'єкти становить близько 70 мільйонів метрів кубічних шахтної води на рік.

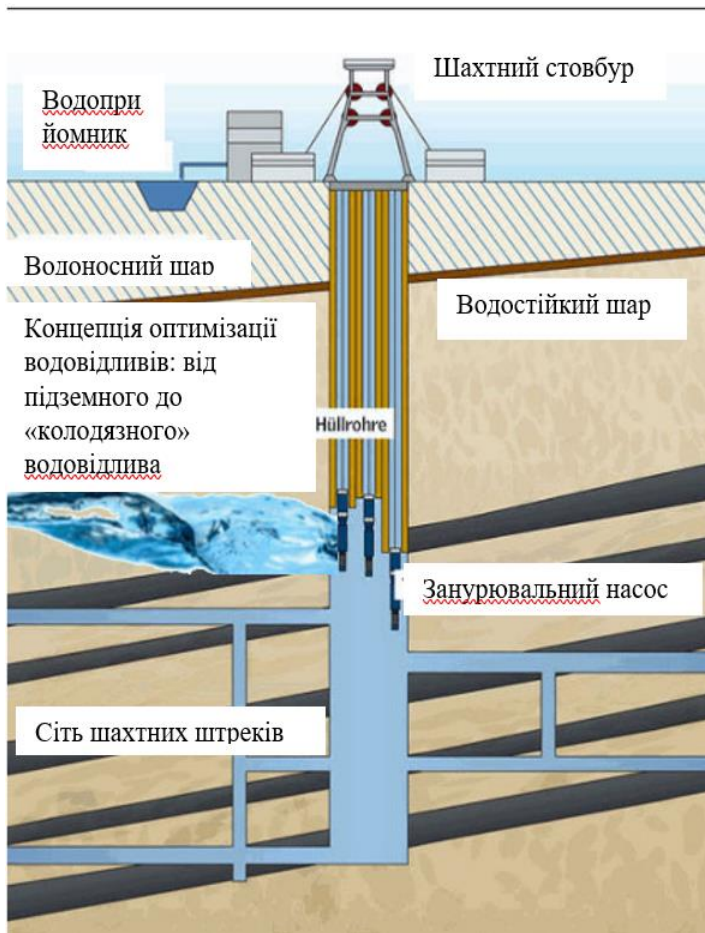


Рис. 19. Принцип роботи занурювального насоса на шахтах RAG, фото RAG

Пояснення до рисунку 20:

1. Зворотний клапан утримує колонку води над насосом після його вимкнення.
2. Шахтна вода надходить у насос через зони всмоктування у верхній і нижній частині насосного агрегату.
3. Два насоси, розташовані один над одним у протилежних напрямках, подають відповідно, половину потоку в центр насоса.
4. Кілька гідравлічних ступенів створюють необхідний тиск близько 80 бар.
5. Ступінь водовідводу об'єднує потоки шахтної води і направляє воду в стояк через зовнішні канали.
6. Відпрацьоване тепло від двигуна, який приводить в дію насос, поглинається внутрішнім контуром охолодження та виводиться назовні.
7. Крім того, теплообмінник забезпечує подальше охолодження двигуна.

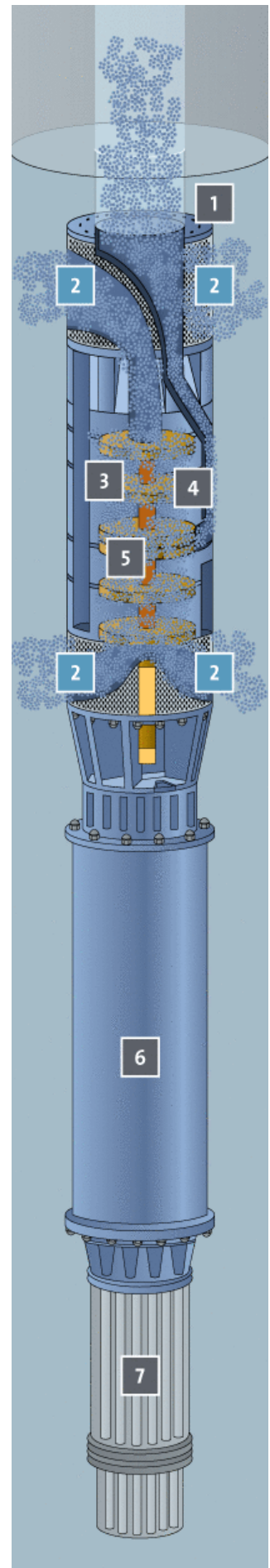


Рис. 10. Компоненти занурювального агрегата [21]

Рурська область за територіальними признаками поділяється на 4 водні зони: західну, середню, південну та східну. У 2006 році в Рурській області було двадцять підземних водовідливів. Після реалізації концепції переходу на водовідливи «колодязного типу» залишиться 6 центральних водовідливів (Рисунок 22 ): Walsum, Lohberg, Heinrich, Friedlicher Nachbar, Robert Müser, Haus Aden [22] технічні параметри яких наведені у таблиці 5.

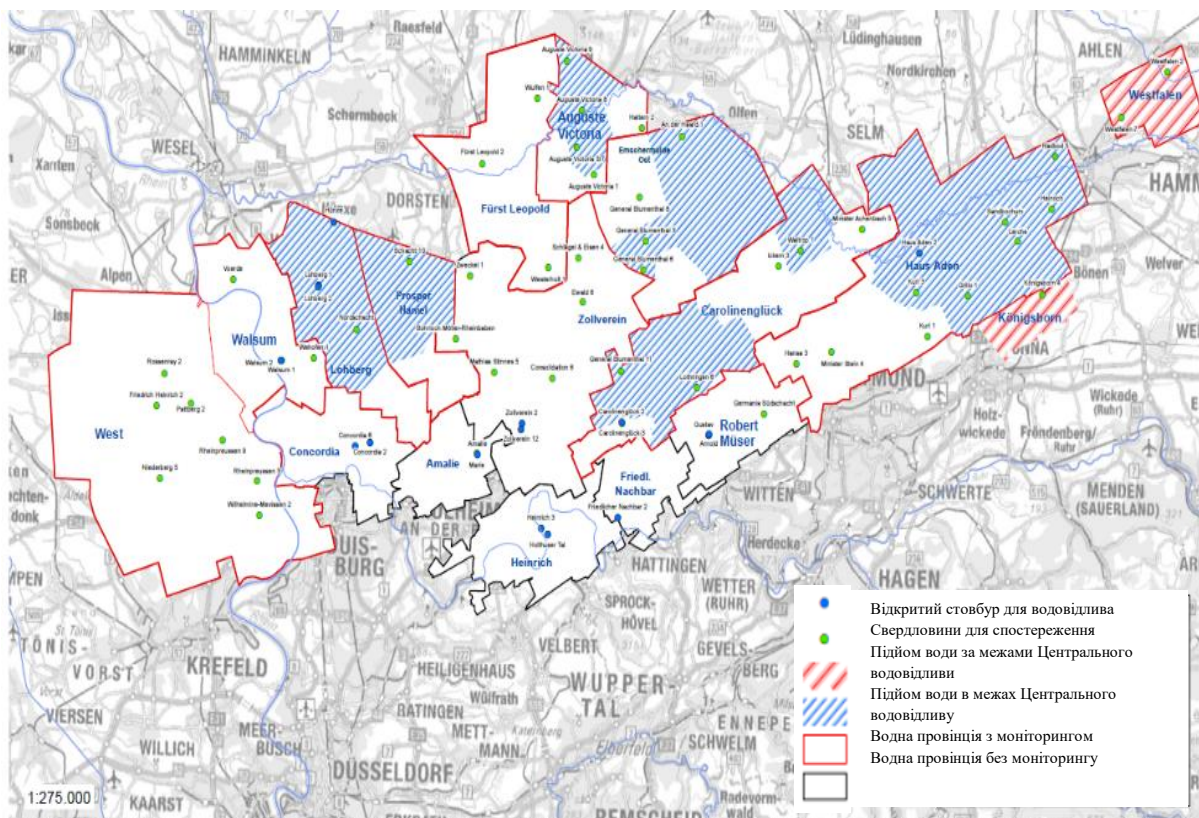


Рис. 21. Зони підйому води та зони моніторингу в Рурському басейні (станом на 07.07.2022) [21]

Таблиця 5

Технічні параметри різних центральних водовідливів

Центральний водовідлив (водна провінція)	Планова висота насоса, м	Плановий об'єм шахтної води, млн м <sup>3</sup> /рік	Водна зона	Скид води в річку
Walsum	780	8	захід	Рейн
Lohberg	680	35	центр	Рейн
Heinrich	410	20	південь	Рур
Friedlicher Nachbar	260	8	південь	Рур
Robert Müser	560	11	південь	Рур
Haus Aden	660	13	схід	Ліппе



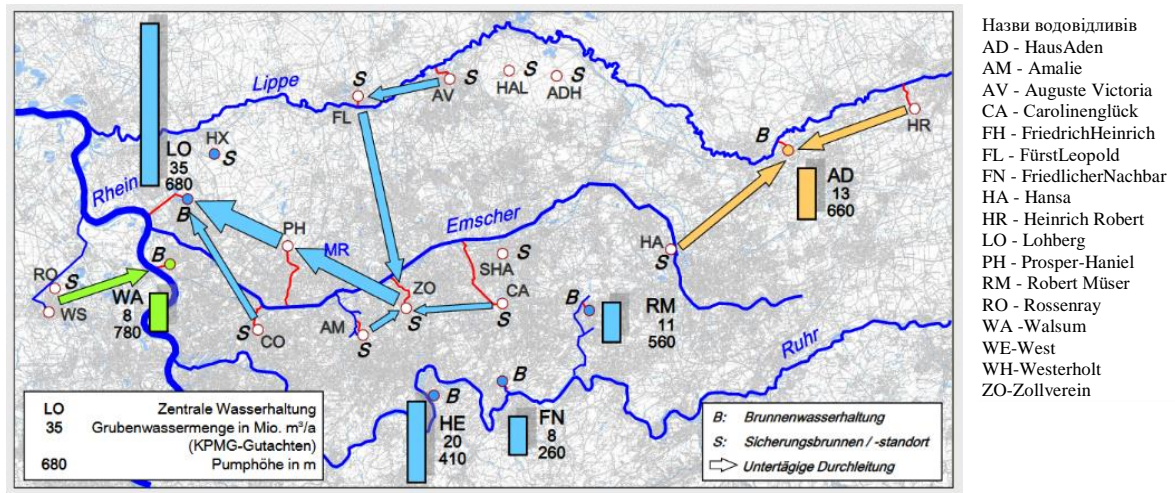


Рис. 22. Підземні гідрозв'язки, зменшення кількості площадок за рахунок центральних водовідливів та перерозподілення шахтної води [21].

*Водна зона Захід.* Об'єкт Walsum був введений в експлуатацію в 2016 році як перший центральний водовідлив в Рурському басейні. Насосні станції Voerde, FriedrichHeinrich ½ та Rosenray ½, Friedrich Heinrich 4, насосні станції шахти West були закриті. Таким чином, центральний водовідлив Walsum став центральною системою відкачування води в західній водній зоні. Шахтні води по трубопроводу відводяться прямо в річку Рейн.

*Водна зона Центр.* У 2014 році було 5 центральних водовідливів, які забезпечували активну відкачку шахтних вод: Amalie, Concordia, Carolinenglück, Fürst Leopold і Zollverein. Після закриття шахт відпала потреба в такій кількості водовідливів. Концепція управління шахтними водами RAG передбачає подальше скорочення водовідливів, шахтна вода має поступати до водовідливу Лоберг і спрямовуватися безпосередньо у річку Рейн.

*Водна зона Південь.* Через геологічні умови тут постійно працюють 3 центральних водовідливи: Heinrich, Friedlicher Nachbari, Robert Müse. Шахтні води через низьку мінералізацію скидаються безпосередньо у річку Рур.

*Водна зона Схід.* Два водовідливи вже виведено з експлуатації, а ділянку Haus Aden було розширено до центрального водовідливу водної провінції. У 2023 році він має запрацювати як центральний водовідлив «колодезного типу». Шахтні води скидаються в річку Ліппе.

*Концепція управління водними ресурсами басейну Саар.* Після припинення видобутку вугілля в Саарланді у 2012 році шахтна вода перекачувалась у 5 місцях (Пютлінген, Кампхаузен, Ендорф, Реден і Луїзенталь – їх технічні характеристики наведено у таблиці 6) і складала понад 17 мільйонів метрів кубічних.

Таблиця 6

Технічні параметри центральних водовідливів в землі Саар

Центральний водовідлив	Обсяг шахтних вод, млн м <sup>3</sup> /рік	Висота підйому води, м
BW Duhamel	0,2	650
BW Viktoria	1,9	400
BW Reden	13,9	900
BW Luisenthal	0,3	350
BW Camphausen	1,7	750

Відповідно до концепції RAG до 2035 року [23] підйом води можна умовно розділити на 2 етапи: з 2012 року приблизно до 2017 року та з 2018 року до 2035 року.

На першому етапі планувалося об'єднати 5 водовідливів. Насоси водної провінції Reden були відключені, шахтна вода піднімається з -600 м над рівнем моря до -320 м над рівнем моря і тече до центрального водовідливу Duhamel (рисунок 23).

На другому етапі планується припинення роботи водовідливів Luisenthal, Viktoria та Camphausen. Таким чином буде створено рівномірний рівень шахтної води для всього району Саар. При рівні води близько +190 м над рівнем моря вода потім стікає безпосередньо у річку Саар.

Після затоплення до поверхні залишається приблизно 500 м, щоб забезпечити безпечну відстань до джерел питної води. Крім того, близько 87 км річок звільняються від шахтної води: Бліз, Зінербах і Клінкенбах через встановлення центрального водовідливу Reden, Фішбах – водовідливу Camphausen, Келлербах і Шлебах – водовідливу Viktoria [24].

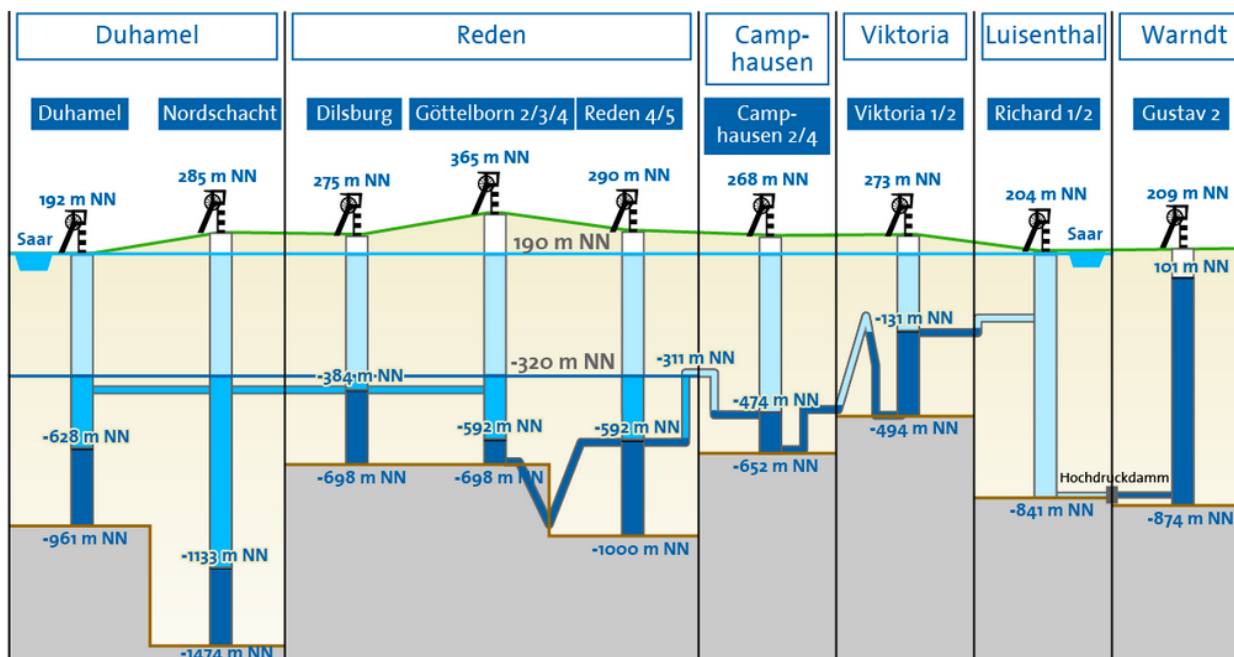


Рис. 23. Поступове затоплення водних провінцій Reden та Duhamel до рівня 190 м. Друга фаза затоплення шахт в басейні Саар.

*Очищення ґрунтових вод в землі Північний Рейн-Вестфалія.* Як відомо, земля Північний Рейн-Вестфалія під час Другої світової війни була осередком вугільної та сталеливарної промисловості і впродовж 1944-1945 років і піддавалась дуже сильному авіабомбардуванню з боку союзників [25]. Вчені досі не можуть встановити повний обсяг негативних екологічних наслідків. Насамперед від бомбардування страждали поверхневі об'єкти шахт, хімічних та сталеливарних заводів. Інколи під час нальотів робітники були змушені виливати шкідливі речовини просто на землю, що звичайно призводило до забруднення ґрунтів та ґрунтових вод.

Щоб нейтралізувати подібні наслідки, такі як потрапляння шкідливих речовин в ґрунтові води, проводять заходи з їх комплексного очищення. Практична модель очищення ґрунтових вод поряд із териконом наведена на рисунку 24.

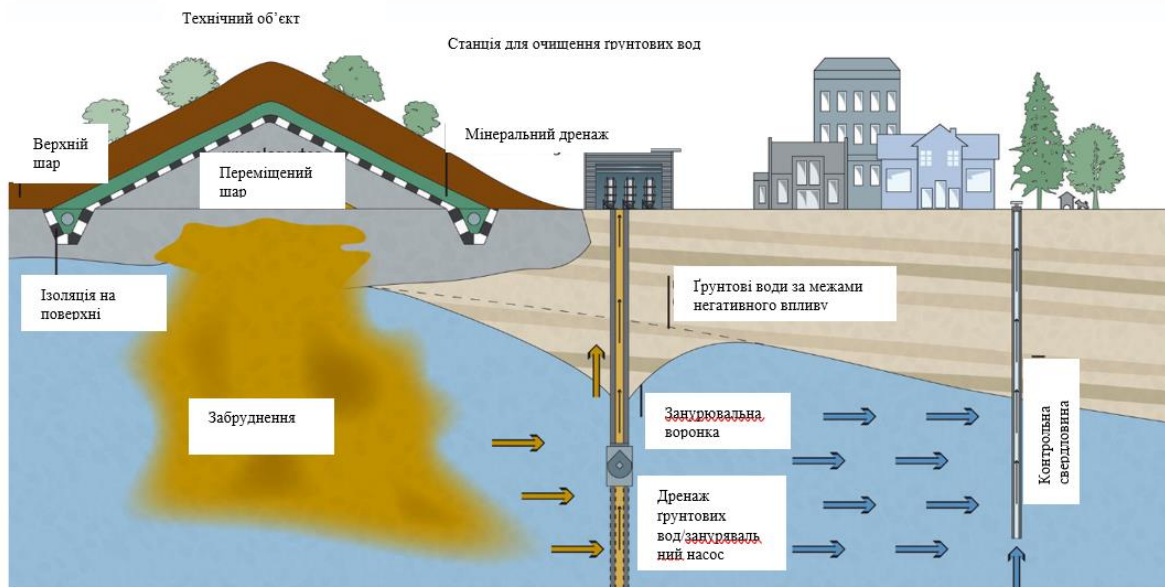


Рис. 24. Очищення ґрунтових вод [21].

Така система очищення води застосовується там, де більша частина забруднення знаходиться під землею. Ґрунтові води перехоплюються дренажними або занурювальними насосами. Насоси передають воду в систему очищення, де активоване вугілля відфільтровує забруднюючі речовини. Очищені ґрунтові води повертають назад. Моніторингові прилади контролюють якість підземних вод на значній території в прилеглих районах. Використане активоване вугілля термічно регенерується, а потім використовується повторно. Якість очищеної води контролюється раз на два тижні незалежним інститутом (Рисунок 25 ).



Рис. 25. Система очищення ґрунтових вод на майданчику Хуго 2/5/8 в Гельзенкірхені. Енергозабезпечення за рахунок фотовольтаніки на даху [25]

Принцип роботи станції з очищування ґрунтових вод на майданчику Хуго 2/5/8 в Гельзенкірхені: 1-й крок очищення. Ґрунтова вода, яка підлягає очищенню, надходить до адсорбера з активованим вугіллям через впускний патрубок і збірний резервуар. 2-й крок. Перший адсорбер з активованим вугіллям. Вода нагнітається знизу через перший адсорбер з активованим вугіллям. Вугілля фільтрує забруднюючі речовини. 3-й крок. Трубна розводка. Ґрунтові води надходять до другого адсорбера через розводку труб. Вона регулює напрямок потоку води в системі очищення. 4-й крок. Другий адсорбер з активованим вугіллям. Другий адсорбер забезпечує повне очищення ґрунтових вод. 5-й крок. Третій адсорбер з активованим вугіллям. Третій адсорбер доступний як резерв або «режим наготові» для заміни. 6. Вантажний гак. Вантажні гаки використовуються для зручності транспортування та заміни використаних адсорберів з активованим вугіллям. 7. Закінчення циклу. Відведення очищених ґрунтових вод у каналізацію.

В Україні питанням трансформації/оптимізації вугільних шахт займаються приблизно з середини 1990-х років, нажаль екологічні ризики, включаючи комплексні проблеми шахтних та ґрунтових вод.

Тому, рекомендується, вивчити та розробити власну концепцію управління шахтними водами, базуючись на прикладі «водних провінцій» RAG AG в Німеччині. Звісно, що Україні передуює довгий та складний шлях відновлення. Але для розробки подібної концепції не треба очікувати завершення війни. Всі необхідні дані, як схема розкреду шахтного поля і таке інше, є в наявності в відповідних міністерствах та установах.

## **8. Постмайнінг гірничо-добувної галузі та промислових відходів (на прикладі Вінниччини)**

Надра Подільського регіону багаті корисними копалинами. Тут розвідані й добуваються поклади каоліну, вапняків, зокрема, для цукрової та будівельної галузей, кристалічних порід для виробництва буту і щебню, декоративно-облицювальних гранітів, пильних вапняків, будівельних пісків, а також абразивних матеріалів – гранатів тощо. Окрім власних корисних копалин, в області перероблялися й використовуються сьогодні привізні мінеральні матеріали та речовини, зокрема донецьке вугілля, донедавна – кольські апатити й африканські фосфорити тощо. Отже, у результаті добування та переробки цих речовин і матеріалів в області утворилися і зростають значні об'єми гірничопромислових золо-шлакових і хімічних відходів, зберігання яких сприяє значному забрудненню довкілля, а також шкідливо впливає на здоров'я людей і стан тваринного та рослинного світу. При цьому якщо ТПВ й небезпечні відходи періодично досліджуються, то багатотоннажним промисловим відходам у Вінницькій області (Рисунок 26) приділяється значно менше уваги. Разом із тим, переробивши їх на корисні вторинні продукти, держава й область мали б значний екологічний, економічний і соціальний ефекти.

При цьому постмайнінг гірничодобувних підприємств, і, у першу чергу, закритих шахт, як і інших об'єктів хімічної, металургійної, теплоенергетичної галузей – це процес ревіталізації, рекреації та рекультивациі порушених територій і створення нових можливостей для розвитку економіки та соціальної інфраструктури на залишках цих об'єктів, який включає в себе різноманітні процеси очищення, фітореMediaційні методи, повторне використання забруднених та порушених територій, ґрунтів, ландшафтів тощо. Метою постмайнінгу також є зменшення негативного впливу на довкілля та здоров'я людей, а також створення нових можливостей для розвитку місцевого регіону. В результаті постмайнінгових заходів і робіт можливе створення різноманітних економічних та соціальних об'єктів: парків, спортивних майданчиків, зон для

відпочинку, мальовничих ландшафтів та краєвидів, привабливих інвестиційних проєктів, розвитку екотуризму, «зеленої економіки» та ін.

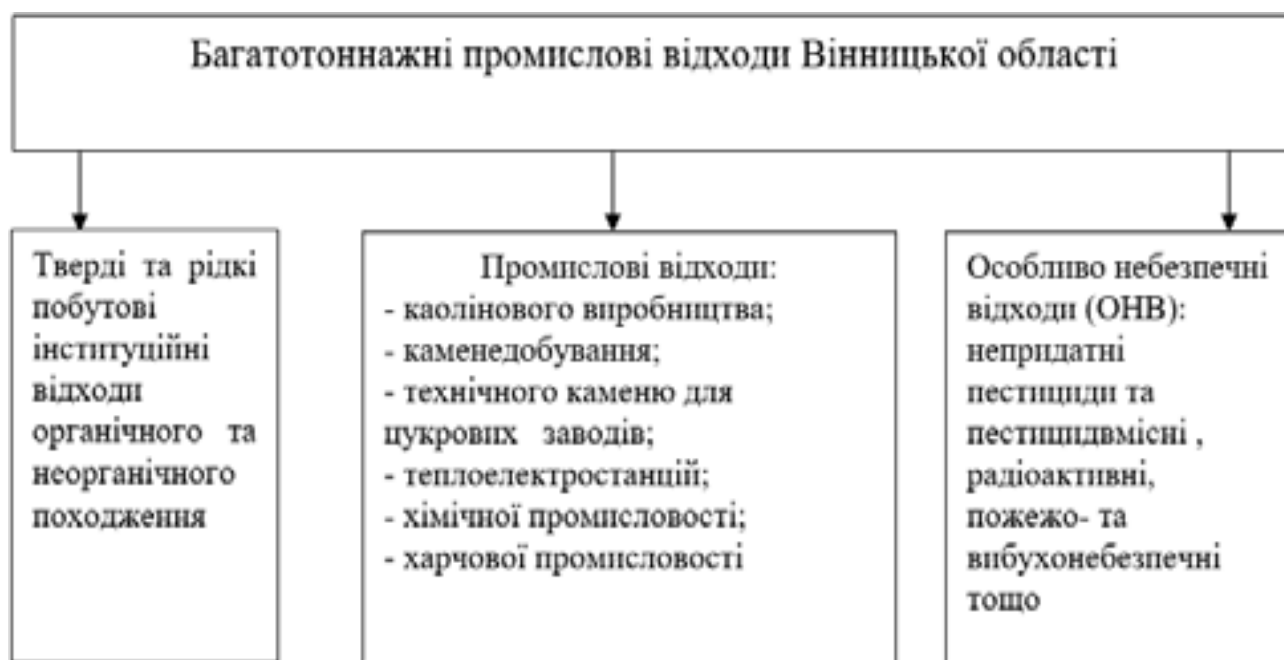


Рис. 26. Багатотоннажні промислові відходи Вінницької області

Відтак, увесь цей процес має відбуватися виключно за науково-виробничим комплексом постмайнінгу, який ґрунтується на запобіганні небезпечним змінам геологічного середовища, підтопленню земель, виділенню токсичних газів, витоків забруднених вод, негативному впливу на екосистеми та ін.

Зрозуміло, що найбільше постмайнінгових робіт потребують провідні українські гірничодобувні регіони (Донбас, Кривбас, Карпатський регіон тощо). Однак і Вінниччина має низку проблем, пов'язаних із наявністю у області значної кількості гірничорудних і добувних об'єктів, зокрема кар'єрів, а також теплоенергетичних та хімічних підприємств, діяльність і неконтрольоване закриття яких призвело до появи порушених територій і ландшафтів, накопичених значних об'ємів відходів, зокрема золошлакових, небезпечних змін екологічного стану тощо.

При цьому Вінниччина володіє значною кількістю кар'єрів по видобутку різних корисних копалин, зокрема, гранітів, глин, у тому числі каолінів, вапняків та ін. Більшість із них вже припинили свою діяльність і є затопленими, наприклад: Могилівський, Черепашинський, частина Глухівецького,



Іванівський, Губницький тощо. Крім того, є багато діючих кар'єрів, зокрема: Стрижавський, Малинівський, Якимівський, Писарівський, Сабарівський, Жежелівський, Погребищанський, а також спецкар'єри:

- Іллінецький: по видобутку декоративного та будівельного каміння, вапняку, гіпсу, крейди та глинистого сланцю;

- Іванівський: по видобутку абразивного каміння та ін.

В області також наявні території, де зберігаються фосфогіпси від колишнього Вінницького хімзаводу, відходи Ладижинської ТЕС, значна кількість несанкціонованих звалищ як побутових, так і промислових відходів тощо. При цьому некерованість більшості цих кар'єрів, які здебільшого мають незворотний характер, та ще за умови ускладнювальних чинників війни, а також глобальних змін клімату тощо, може призвести до негативних екологічних наслідків довгочасного та регіонального і транскордонного характеру.

Отже, здійснимо аналіз посмайнінгу гірничо-рудної галузі і дамо вичерпну характеристику основних видів промислових відходів у Вінницькій області.

### **Відходи каолінового виробництва**

Каолін (біла глина) добувається в північній частині території області, а саме в Козятинському та Липовецькому районах. При цьому первинні каоліни містять приблизно половину, власне, каоліну та інша частина – кварцовий пісок і до 1% – інших мінералів. Як відомо, ця мінеральна сировина утворилася в результаті глибоких хімічних і метеорологічних вивітрювань і вимивань кристалічних (гранітних) материнських порід протягом тривалого геологічного періоду (десятки мільйонів років). При цьому каолін знаходить своє застосування в багатьох галузях промисловості та людської діяльності, а саме: парфумерній, паперовій, гумотехнічній, фарфоро-фаянсовій, харчовій тощо. Зрозуміло, що отримання чистого каоліну передбачає використання технології збагачення або розділення первинної сировини на каолін і пісок з використанням рідкого силікату натрію або каустичної соди в дезінтеграторних барабанах. При цьому каолін розмокає в реактивній воді з утворенням пульпи,

після чого збагачена суспензія в шнекових ваннах розділяється: піщана фракція осаджується, утворюючи підрешітковий продукт (піщано-галечні відходи), а надрешітковий, власне, каолін – проходить ще декілька стадій очищення, промивки, сушки й отримання товарного продукту. У результаті утворюються значні об'єми піщано-галечних відходів, які транспортуються у відвали. Їх накопичено вже близько 10 млн. тон. До речі, встановлена їх підвищена радіоактивність унаслідок присутності торієвмісних мінералів (циркон, монацит, апатит, сфен тощо). Усе це згубно впливає на довкілля, а тому потребує додаткових досліджень з метою практичного застосування галечних і мілкозернистих піщаних відходів каолінового виробництва, зокрема, у дорожньо-будівельних роботах тощо.

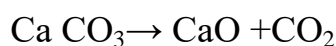
### **Відходи каменеподрібнення та каменепилення**

Вінницька область є однією з головних в Україні виробників будівельного каміння, зокрема щебеню. Кар'єрів у ній нараховується понад 60. У них відбуваються різноманітні технологічні процеси каменеподрібнення та каменепилення. У результаті утворюється товарна продукція: фракціонований щебінь, бутовий камінь, гранітний відсів тощо, які повністю використовуються в будівельній та автодорожній галузях, в облаштуванні дамб і гребель тощо. При цьому щорічно утворюється близько 1 млн. м<sup>3</sup> відсіву кристалічних порід. Породи Подільських гранітів характеризуються високою міцністю, зносо- та морозостійкістю зі щільністю (густиною) до 3 г/см<sup>3</sup> і міцністю до 200 і більше МПа. Доречно зазначити, що в Іванівському кар'єрі добувають граніт, у якому міститься до 30% гранату, який є цінною сировиною для виробництва абразивів, фрикційних матеріалів тертя й інших шліф-матеріалів. Крім того, в області здійснюється добування пильного каменю та блоків на понад 20 підприємствах (19 шахт і 2 кар'єри) з вапняків неогенового періоду. Більшість їх є високоякісні вапняки з умістом карбонатів кальцію та магнію понад 92%. Низькоякісні вапняки містять певну кількість оксидів кремнію, тобто фактично піску. Щільність їх до 2,8 г/см<sup>3</sup>, а міцність – до одиниць МПа. Пильний камінь-вапняк добувається як шахтним способом, так і надземним, але перший є малоефективним. У результаті добування та розпиловки цієї сировини

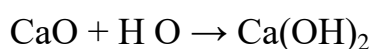
утворюється значна кількість відходів у вигляді вапнякової муки, яка так само, як і будівельна блочна продукція, широко використовується в оптово-роздрібній торгівлі для різних цілей.

### **Відходи й добування технологічного каменю для виробництва цукру**

Технологічний камінь-вапняк для цієї мети добувається на 3 місцевих родовищах, а споживачами є численні цукрові заводи Вінниччини (раніше – 40, а на теперішній час менше ніж 10 заводів) і сусідніх областей. Щоправда, для цукрових заводів північної частини Вінницької області завозиться камінь з Негінського кар'єру Хмельницької області. Такий камінь-вапняк використовується на цукрових заводах як фільтри, через які промивається забруднена землею бурякова маса. У результаті такої технології вапняк сорбує земельні домішки й утворюється своєрідна маса, яка називається дефекат і має брудно-сірий колір. Він, як і вапнякова мука, є прекрасним меліорантом, що сприяє вапнуванню кислих ґрунтів і різкому підвищенню урожайності сільськогосподарських культур. Отже, така цінна сировина повністю використовується в сільськогосподарському виробництві. Крім того, вапнякові відходи можна використовувати для виробництва вапна за загальною схемою:



При цьому вапняк просто випалюється з отриманням CaO, тобто негашеного вапна, яке потім, після взаємодії з водою, може утворювати гашене вапно за спрощеною схемою:



Отже, без гашеного й негашеного вапна важко уявити сьогоднішню лакофарбову промисловість, будівельну галузь і безліч відповідних технологічних процесів.

### **Відходи хімічної промисловості**

Мова тут передусім іде про колишній Вінницький хімічний завод з виробництва мінеральних добрив, зокрема фосфатних, на основі привозних збагачених апатитових руд Хібінського родовища, а також африканських фосфоритів. Сьогодні завод функціонує лишень у частині виробництва миючих засобів. Основне виробництво зупинилося ще декілька десятків років тому.

Однак славнозвісний «Хімпром» залишив по собі страшний спадок у вигляді величезних відвалів фосфогіпсів, загальна тоннажність яких сягає понад 400 тис. тон. До складу фосфогіпсу входять оксиди металів, передусім кальцію, залишків сульфатної кислоти, зовсім небагато (1–1,5%)  $P_2O_5$  і стільки ж фтору тощо. Проте фосфогіпс мав би використовуватися в сільському господарстві, зокрема, південних областей України для гіпсування засолених ґрунтів. Однак значна вартість їх перевезення, а тепер і війна, стримує їх корисне застосування. Отже, фосфогіпсові відвали негативно впливають на довкілля, на урбосередовище м. Вінниці, проникають у підземні горизонти й наземні стоки річки Тяжилівка (притока Південного Бугу) тощо. Разом із тим, їх можна використовувати при виробництві будівельних матеріалів, у цементній промисловості як мінералізуючу добавку та для інших корисних цілей.

Іншими хімічними відходами на Вінниччині є непридатні до використання пестицидні препарати й інші пестицидвмісні відходи (конструкції хімскладів, використана з-під пестицидів і ХЗЗР тара тощо), яких ще й досі нараховується близько 1000 тон на складах і сховищах, а окремо на Джуринському отрутомогильнику ще понад 2000 тон. Вони належать до особливо небезпечних для довкілля й людини відходів 1 і 2 класів небезпеки, а тому потребують особливої уваги та негайного інженерно-технологічного вирішення цієї проблеми на державному рівні.

### **Відходи теплоенергетики**

При спалюванні привозного високозольного донецького (раніше – з Ясинуватої) вугілля, зокрема, на Ладизинській ТЕС утворюються значні об'єми золошлакових відходів у вигляді золи-виносу, золи-гідровидалення, золошлакової суміші, відвальної сажі, пилу, які містять скло, оксиди металів, зерна магнетиту, кварцу, муліту, карбонатних матеріалів, випалену глину та безліч інших компонентів. Усе це, безперечно, «зобов'язане» особливостям хімічного складу низькоякісного донецького вугілля (не беручи до уваги антрацити). Отже, за хімічним складом золошлаки Ладизинської ТЕС належать до кислих низькокальцієвих матеріалів з високим умістом оксидів заліза та алюмінію, пірокарбону, оксидів кремнію тощо. Це означає, що такі золошлаки

відповідають вимогам різних ГОСТів та ОСТів (наприклад: 25592-83, 25818-83 тощо) до виробництва бетонів, головне, у виготовленні стінових будівельних матеріалів (власне, шлакоблоки тощо). Разом із тим, технологія спалювання й отримання тепла на Ладжинській ТЕС передбачає використання не тільки вугілля, а й природного газу, що автоматично зменшує золошлакові відходи. Однак золошлакові відходи не знаходять належного їх використання й вивозяться у відвали, площа яких сьогодні перевищує 200 га з декількома десятками млн. тон золошлакової суміші, які згубно впливають на довкілля, на прилеглі до річки Південний Буг ландшафти, на підземні води тощо. Проте вони могли б з успіхом використовуватись на заводах залізобетонних виробів, на цементних заводах, на підприємствах стінових будівельних матеріалів із керамзитозолобетону, комірчатого газобетону, силікатної цегли та інших будівельних матеріалів.

### **Відходи харчової галузі**

На Вінниччині, як і по всій Україні, стрімко накопичуються харчові відходи. При цьому Вінницька область є одним із найпотужніших аграрно-промислових центрів держави. В області діє безліч підприємств харчової галузі. Це масло-сирзаводи, цукрові, спиртові та горілчані, підприємства хлібобулочних, кондитерських та інших харчових продуктів. Тут успішно діють потужні концерни «Рошен», «Nemiroff», олієжиркомбінат тощо. При цьому в середньому один громадянин у рік викидає в смітник 250–300 кг побутових відходів, половина з яких є харчовими, а переробка й утилізація цієї цінної сировини в містах не налагоджена повною мірою (окрім сільської місцевості, у якій такого роду відходи використовуються повністю: частина їх іде на корм домашнім тваринам, а інша – у помийні чи компостні ями). При цьому відходи цих виробництв, як правило, потрапляють у водні об'єкти, звалища, полігони, призводячи до збільшення забруднення та санітарно-епідеміологічних проблем.

Разом із тим, вони є й цінною сировиною, з якої можна отримати й органічні добрива, і біогаз тощо. Однак чіткої системи управління та поводження із цим видом органічних відходів в області не існує, так само як і

належної системи моніторингу й контр олю за їх використанням. Приклад розвинених країн Європи і світу свідчить про протилежне. Зокрема, на сміттєпереробних заводах є окремі ділянки, де ці відходи складаються в бурти або ями, додаються каталізatori або ензими для їх інтенсивної біоферментації й у результаті отримується цінна сировина: компост, органічні добрива, перегній, біогаз тощо, які з успіхом використовуються, зокрема, у сільськогосподарському виробництві.

Таким чином, на території Вінниччини разом із велетенськими обсягами твердих побутових відходів, які зберігаються значною мірою на несанкціонованих звалищах і полігонах, накопичено значні кількості й промислових відходів, що часто не знаходять практичного використання. Водночас, вони згубно впливають на довкілля, на живі екосистеми. Але при розумному їх інтегрованому управлінні та поводженні з ними вони мали б бути зараховані не до відходів, а до тимчасово невикористаної сировини, яку необхідно переробити, запустити в рециклінг та з якої отримати корисну вторинну продукцію. При цьому вивільняються десятки тисяч гектарів територій, які можна буде теж використати або з рекреаційною метою, або для сільськогосподарського виробництва тощо. У результаті досягається значний екологічний, соціальний та економічний ефекти, оскільки при цьому здійснюється всебічна робота щодо збереження й відновлення природних ландшафтів, оздоровлення середовища проживання людини та інших живих систем. Крім того, це має бути й стимулом для всебічного впровадження маловідходних і замкнутих технологій переробки відходів, запобігання їх новому утворенню в рамках удосконалення та реформування чинної системи управління й поводження з відходами. У результаті потрібно застосовувати оптимізовану систему інтегрованого управління екологічною безпекою всіх видів промислових і побутових відходів, яка на підсистемному рівні даватиме змогу застосовувати комплексні методи та здійснювати інтегровані управлінські дії до всіх компонентів вищезазначених промислових відходів. Це, безперечно, дасть можливість підвищити екологічну безпеку території Вінницької області й значною мірою зменшити рівень її забруднення на основі

принципів відповідності засадам економіки замкненого циклу та концепції (стратегії) сталого (збалансованого) розвитку.

Тому головними завданнями впровадження постмайнінгу, спрямованого на підвищення безпеки місцевого населення можуть бути такі заходи:

- удосконалення системи прогнозування змін основних життєзабезпечувальних складників довкілля;
- модернізація структури моніторингу з впровадженням математичних компенсаційних моделей діяльності гірничо-рудних районів та використанням технологій ГІС тощо;
- наукове обґрунтування граничних змін екологічних параметрів складників і впливних факторів на довкілля та довгострокової екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності;
- забезпечення стійкої експлуатації об'єктів критичної інфраструктури та інші природоохоронні заходи;
- невідкладне виконання робіт в повоєнний період по ревіталізації, рекреації та створення на місці гірничорудних об'єктів привабливих «зелених» зон, впровадження відповідних інноваційно-інвестиційних проєктів з метою створення сучасних соціально-економічних об'єктів;
- реструктуризації гірничих комплексів за прикладом передових країн ЄС.

## ВИСНОВКИ

1. Експертний аналіз впливу російської агресії на прискорене затоплення шахт Донбасу свідчить про регіональне формування небезпечного метанового забруднення приземної атмосфери в межах промислово-міських агломерацій, проммайданчиків і об'єктів критичної інфраструктури.

2. Містоутворюючий характер значної кількості шахт обумовило розташування до 60 міст та селищ над гірничими виробками, в межах яких слід очікувати збільшення локальних накопичень метану та зростання пожежно-вибухової небезпеки.

3. Розташування в межах міст, селищ та на прилеглих територіях вуглепородних териконів, в т.ч. ті що горять, формує принципово новий фактор суттєвого погіршення безпеки життєдіяльності, який має високу просторово-часову динаміку внаслідок зростання впливу затоплення гірничих виробок, ділянок підтоплення і затоплення земель, формування зон осідання вуглепородного масиву та розвитку нових метано-водних проникних зон.

4. Сучасна система екологічного моніторингу геологічного середовища Донбасу щодо сучасного визначення приземних небезпечних скупчень метану є вкрай фрагментарною та неінформативною і тому вимагає термінового удосконалення на онові прискореного впровадження технологій ДЗЗ, БПЛА, ДПЛА, ГІС, ІоТ та моделювання.

5. Різноманітність структурно-геологічної будови, гідрогеологічних та газо-геодинамічних умов вимагає необхідності розробки наукових основ районування вуглепромислової зони Донбасу за рівнем небезпеки метанового забруднення приземної атмосфери за умови російської агресії та повоєнного відновлення.

6. Враховуючи вищенаведене доцільною є створення Міжнародної програми з оцінки та розробки заходів щодо зменшення небезпечного впливу метанового забруднення приземної атмосфери в межах полів шахт Донбасу, що виводяться із експлуатації, з врахуванням досвіду вугледобувних шахт держав ЄС (Німеччина, Великобританія, Франція та ін.)



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брижанєв А.М. (кер. теми, проф.) Оцінка ресурсів вуглеводневих газів у межах найбільш перспективних для їхнього попутного видобутку шахтних полів та ділянок. Мінвуглепром СРСР, ВО “Укрвуглегеологія”, Тематична експедиція (звіт у 2 книгах, 556 с.). Донецьк, 1990 р.
2. Плужнікова В.Л., Вергшельська. Структурно-тектонічні фактори формування газоносності вуглепородних масивів Донбасу. Мінеральні ресурси Донбасу, 2015, №4, с.с.22-25
3. Гавриленко Ю.Н., Ермаков В.Н., Кренида Ю.Ф.и др. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины. НордПрес, 2014, 631 с.
4. Рудько Г.І., (ред), Бонлар О.І (ред.). Яковлев Є.О., Машков О.А., Плахотний С.А., Єрмаков В.М. Екологічна безпека вугільних родовищ України. Букрек, Київ, 2016, 607с.
5. Бондар О.І., Єрмаков В.М., Лубенська Н.О. Сучасні підходи в постмайнінгу. Міненергетики України, Центр Гуманітарного Діалогу. Київ, 2023, 77с.
6. Ecological Threats in Donbas, Ukraine. assessment of ecological hazards in Donbas impacted by the armed conflict in eastern Ukraine (Ye.Yakovlev, S. Chumachenko with contributions HD staff), 2017, Canada, 60p. Звіт ЦГД (2017 р.).
7. V. Ermakov, E. Yakovlev, S. Chumachenko, A. Kodrik, A. Borysov, V. Derman Methodological Bases for Monitoring the Ecological State of the Geological Environment in the Mine Flooding Zone of Donbas Under the Influence of Armed Conflict. European Association of Geoscientists & Engineers, 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2022, Volume 2022, p.1 – 5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580081/>
8. Кузик И.Н. Формирование критериев экологической опасности породных отвалов шахт // Екологія і природокористування. — 2009. — Вип. 12. — С. 156-160. [Електронний ресурс]: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/14571>

9. Andrii V. Oreshchenko, Volodymyr I. Osadchyi, Mykhailo V. Savenets, Vira O. Balabukh Detection and monitoring of potentially dangerous fires on the territory of ukraine using the data of satellite scanning. [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.15407/visn2020.11.033>

10. Гусак О. М. «Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів» – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – «інформаційні технології» (126 – інформаційні системи та технології) – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Львів, 2019 рік.

11. Gribben, J. (1986) Temperature Rise in Global Green House. New Scientist, 15, с. 31-32. [Електронний ресурс]: <https://www.scirp.org/reference/referencespa pers.aspx?referenceid=1281426>

12. В.В. Попович, А.Д. Кузик, канд. фіз.-мат. наук, доцент, О.О. Карабин, канд. фіз.-мат. наук, доцент, О.Ю. Чмир, канд. фіз.-мат. наук. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. Моделювання температурного поля згасаючих териконів.

13. Classification of fires in coal waste dumps based on Landsat, Aster thermal bands and thermal camera in Polish and Ukrainian mining regions *Ádám Nádudvari, Anna Abramowicz, Monika Fabiańska, Magdalena Misz-Kennan & Justyna Ciesielczuk.* [Електронний ресурс]: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40789-020-00375-4>

14. Філіпович В.Є. Мичак А.Г. Шевчук Р.М. Розроблення та реалізація регіональних Програм поводження з відходами: проблемні питання та кращі практики. Можливості використання супутникових даних для моніторингу пожежонебезпечності териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну.

15. Prasun K Gangopadhyay and Kuntala Lahiri-Dutt Year of Publication: 2005. Detecting Coalfires with Remote Sensing: A Comparative Study of Selected Countries Series: Resource Management in Asia-Pacific Working Paper No. 58 Publisher: Resource Management in Asia-Pacific Program Research School of

16. Andrii V. Oreshchenko, Volodymyr I. Osadchyi, Mykhailo V. Savenets, Vira O. Balabukh Detection and monitoring of potentially dangerous fires on the territory of ukraine using the data of satellite scanning. [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.15407/visn2020.11.033>

17. Довгий С.О., Бабійчук С.М., Кучма Т.Л. та ін. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах : навч.-метод. посіб. / С. О. Довгий, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма та ін. – Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 268 с. ISBN 978-617-7945-11-5 <http://man.gov.ua/files/49/ZZ2.pdf>

18. Ada'm Na'dudvari<sup>1</sup>, Anna Abramowicz<sup>1</sup>, Monika Fabian'ska<sup>1</sup>, Magdalena Misz-Kennan<sup>1</sup>, Justyna Ciesielczuk Classification of fires in coal waste dumps based on Landsat, Aster thermal bands and thermal camera in Polish and Ukrainian mining regions [Електронний ресурс]: <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00375-4>

19. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. – К.: ВАІТЕ, 2017. – 88 с.

20. Ермаков В.Н., Лунева О.В., Лубенская Н.А. К вопросу реструктуризации угольной промышленности в Украине в контексте европейского опыта. Екологічні науки. 2021. Вип. 1(36). С. 16-21.

21. Офіційний сайт Акціонерного товариства RAG AG [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rag.de/>

22. Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfallen, Herne, August 2014. 29 p.

23. Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für das Saarland, Herne, März 2014. 21 p. [Електронний ресурс] URL: <https://docplayer.org/40354010-Konzept-zur-langfristigen-optimierung-der-grubenwasserhaltung-der-rag-aktiengesellschaft-fuer-das-saarland.html>

24. Maßnahmenkonzept Wasserprovinzen Duhamel/Reden, Essen, 29.06.2018.

25. Alan J. Levine: The strategic bombing of Germany, 1940–1945. Greenwood Publishing Group, Westport 1992, ISBN 0-275-94319-4, S. 338.
26. Снісар Н.Г., Бент О.І., Яцун В.К. Комплексне використання промислових відходів у Вінницькій області. Одеса : Маяк, 1991. 88 с.
27. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року : Розпорядження Кабміну України від 08.11.2017, № 820-р.
28. Регіональний план управління відходами Вінницької області на період до 2030 року. Швейцарсько-український проект DESRO. Вінниця, 2020. 556 с.
29. Петрук Р.В., Петрук В.Г., Кравець Н.М. Аналіз стану інтегрованого управління екологічною безпекою багатотоннажних промислових відходів на Вінниччині. Екологічні науки, 2021. Випуск 1(34). С.215-218.
30. Рудько Г.І., Яковлев Є.О. Постмайнінг гірничодобувних регіонів України як новий напрям еколого безпечного використання мінерально-сировинних ресурсів. Мінеральні ресурси України, 2020. №3. С.37-44.
31. Андреев В. П., Екологічні проблеми гірничої промисловості. К.: Інтернаука, 2016. 430 с.
32. Постанова КМУ від 31 серпня 1999 р., №1606 «Про концепцію поліпшення екологічного становища гірничодобувних регіонів України».
33. Рудько Г.І. Ресурси геологічного середовища та екологічна безпека техноприродних геосистем. Монографія. Київ: ЗАТ «Нічлава», 2006. 464
34. Петрук В.Г., Петрук Р.В., Іщенко В.А., Гавадза С.В. Інтегроване управління постмайнінгом багатотоннажних відходів Вінниччини. Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (7-8 грудня 2023 року, м. Полтава), Полтава: НУПІ, 2023. – С. 80–82.
35. Петрук В.Г., Єрмаков В.М., Лубенська Н.В., Петрук Р.В. Ревіталізація, рекреація та постмайнінг гірничо-добувної галузі Вінниччини. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Екологічно сталий розвиток урбосистем: Виклики та рішення в контексті

євроінтеграції України», 2-3 листопада 2023 р., м. Харків, Національний університет міського господарства ім. Бекетова. – С. 165–166.