

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

А.В. ЧУГАЙ, Т.А. САФРАНОВ

**МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННОГО
ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ**

Навчальний посібник

Затверджено Вченою радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як навчальний посібник для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія» (протокол № 6 від 30.06.2021 р.)

**Одеса
Букаєв Вадим Вікторович
2021**

УДК 504.0642
Ч 83

Рецензенти:

М.С. Мальований – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка»;

О.В. Степова – доктор технічних наук, доцент, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Чугай А.В.

Ч 83 Методи оцінки техногенного впливу на довкілля: навч. посіб. / А.В. Чугай, Т.А. Сафранов. Одеса: Видавець Букаєв Вадим Вікторович, 2021. 118 с.

ISBN 978-617-7790-42-5

У навчальному посібнику викладено основні відомості щодо методичних основ оцінки стану і техногенного навантаження на довкілля в цілому і його окремі складові. Розглянуто підходи щодо оцінки техногенного навантаження на атмосферне повітря, водні об'єкти, ґрунтово-геологічне середовище за окремими показниками, а також комплексні методи оцінки на довкілля.

Рекомендується для підготовки фахівців у галузі екології, охорони навколишнього середовища та збалансованого природокористування зі спеціальностей 101 «Екологія» і 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

ISBN 978-617-7790-42-5

© Одеський державний
екологічний університет, 2021

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ПЕРЕДМОВА	5
1 ПОКАЗНИКИ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА СКЛАДОВІ ДОВКІЛЛЯ	7
1.1 Методи оцінки техногенного впливу на повітряний басейн	9
1.2 Методи оцінки техногенного впливу на поверхневі води	18
1.3 Методи оцінки техногенного впливу на ґрунтовий покрив і геологічне середовище	34
1.3.1 Методи оцінки стану і якості	34
1.3.2 Методи оцінки техногенного навантаження	52
2 КОМПЛЕКСНІ ПОКАЗНИКИ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ	66
2.1 Методи оцінки окремих видів навантаження	66
2.2 Комплексні показники оцінки техногенного навантаження на довкілля	70
ГЛОСАРІЙ	94
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	100
ДОДАТКИ	106
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	113
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	114

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БСК	– біохімічне споживання кисню
ВМ	– важкі метали
ГВ	– ґрунтові води
ГДЗ	– гранично допустиме забруднення
ГДК	– гранично допустима концентрація
ГДТН	– гранично допустиме техногенне навантаження
ГПР	– гранично припустимий рівень
ГС	– геологічне середовище
ЕДІ	– ергодемографічний індекс
ЕС	– екосистема
ЗР	– забруднююча речовина
ІЗА	– індекс забруднення атмосфери
ІЗВ	– індекс забруднення води
ІЗГ	– індекс забруднення ґрунтів
ІЗП	– індекс забруднення повітря
ІСЕ	– індекс стійкості екосистем
ІТН	– індекс техногенного навантаження
КІЗ	– комбінаторний індекс забруднення
КІЗА	– комплексний індекс забруднення атмосфери
Ккд	– коефіцієнт комбінованої дії
КНП	– коефіцієнт небезпеки підприємства
КПЗ	– комплексний показник забруднення
ЛОШ	– лімітуюча ознака шкідливості
ЛПЗ	– лімітуючий показник забруднення
МТН	– модуль техногенного навантаження
НП	– нафтопродукти
ОДК	– орієнтовно допустима концентрація
ОКТІ	– об'єкти критичної транспортної інфраструктури
ОРГ	– органічна речовина ґрунту
ПВ	– підземні води
ПЗ	– показник забруднення
ПСЗ	– показник схильності до забруднення
ПСЗА	– пункт спостережень за забрудненням атмосфери
ПХЗ	– показник хімічного забруднення
СВ	– стічні води
СПАР	– синтетичні поверхнево-активні речовини
ТЧ	– тверді частинки
УФП	– ультрафіолетовий показник
ХЕ	– хімічний елемент
ХСК	– хімічне споживання кисню

ПЕРЕДМОВА

Загальна і все більш зростаюча увага в усьому світі приділяється екологічним проблемам. При цьому найгостріші екологічні проблеми зазвичай зводяться до питань забруднення і зміни атмосфери, водних об'єктів, ґрунтово-рослинного покриву, збереження біологічного різноманіття і т.ін. У процесі різноманітної техногенної діяльності біосфера все більше і більше входить у *техносферу* – сукупність штучних об'єктів, створених цілеспрямованою діяльністю людини, та природних об'єктів, змінених цим процесом. Для природних складових розроблені достатньо обґрунтовані показники рівнів техногенного навантаження.

Техногенне навантаження – це ступінь впливу господарської діяльності на навколишнє природне середовище або його окремі компоненти. Головними джерелами техногенного навантаження є об'єкти виробничого і технічного призначення, до яких також можна відносити промислові, транспортні, сільськогосподарські, лісотехнічні об'єкти тощо [1].

Під впливом техногенної діяльності, в першу чергу, погіршується якість природної складової навколишнього середовища, тобто ступінь відповідності природних умов потребам людей і біоти [2]. У даний час техногенного навантаження зазнають всі абіогенні (атмосферне повітря, природні води, ґрунтовий покрив, геологічне середовище) та біогенні (біоценози) складові доквілля.

Доквілля вважається безпечним, коли його стан відповідає встановленим у законодавстві критеріям, стандартам, лімітам і нормативам, які стосуються його чистоти (незабрудненості), ресурсомісткості (невиснаженості), екологічної стійкості, санітарних вимог, біологічного різноманіття, здатності задовольняти інтереси населення тощо.

За якісними показниками стан доквілля можна представити трьома рівнями, де його якість розглядається як сукупність природних і «набутих» властивостей, сформованих під впливом антропогенної діяльності, які відповідають встановленим екологічним, санітарно-гігієнічним нормативам, що забезпечують умови для розвитку і відтворення живих організмів, у т.ч. життєдіяльності людини.

Першим (найвищим) якісним рівнем є чисте природне середовище. У даному випадку забруднення природного середовища є мінімальним і не спричиняє змін нормального екологічного стану на певній території (акваторії).

Другим рівнем є сприятливе природне середовище. При цьому забруднення можливе в межах, які не впливають на стан здоров'я людини і

коли відсутні будь-які несприятливі фактори, зумовлені специфікою окремих форм техногенної діяльності.

Третім рівнем є безпечне природне середовище. При цьому допускається можливість наявності у природному середовищі певної території (акваторії) незагрозливих для людини негативних факторів.

При оцінці техногенного впливу на довкілля застосовують дві групи методів:

- методи, які реалізують підхід щодо оцінки певного виду навантаження (на складові довкілля, транспортне, аграрне тощо);
- методи, які дозволяють виконати комплексну оцінку навантаження на довкілля.

Крім застосування окремих показників навантаження також альтернативним підходом є застосування кластерного аналізу, геоінформаційних технологій тощо.

У навчальному посібнику розглянуто існуючі підходи щодо оцінки техногенного впливу на атмосферне повітря, водні об'єкти, ґрунтовий покрив і геологічне середовище, методи оцінки окремих видів навантаження, а також комплексні показники оцінки техногенного навантаження на довкілля.

1 ПОКАЗНИКИ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА СКЛАДОВІ ДОВКІЛЛЯ

Техногенний вплив на складові довкілля можна поділити на два види: *прямий і опосередкований*. *Прямий* вплив здійснюють господарські об'єкти і системи при безпосередньому контакті з природним середовищем у процесі природокористування. Територіальна зона прямого впливу практично співпадає з межею функціонування відповідних господарських систем. *Опосередкований* вплив пов'язаний із природними зв'язками, взаємодією між елементами і компонентами ландшафту.

Розглядаючи фактори техногенезу (процесу змін природних комплексів під впливом виробничої діяльності людини) і екологічної безпеки території, слід відзначити про наявність таких основних видів техногенного навантаження як індустриальне (промислове), транспортне і аграрне [1]. Також окремо слід відзначити важливість оцінки рекреаційного навантаження як фактору антропогенного впливу на довкілля.

Слід відзначити, що показники оцінки рівня забруднення природних середовищ є складовою частиною визначення рівня техногенного навантаження на окремі складові довкілля (рис. 1.1).

Головним інструментом для проведення оцінки стану складових довкілля є так звані «екологічні показники» [4]. Застосування певних показників, що базуються на достатніх часових рядах даних, не тільки відображає основні тенденції забруднення довкілля, але й сприяє аналізу причин та наслідків екологічної ситуації, що склалася у будь-якому регіоні. Також вони опосередковано дозволяють спостерігати за ходом здійснення і ефективністю екологічної політики в країнах.

В залежності від ролі показника в оцінці конкретного питання їх можна класифікувати за схемою Європейської агенції з навколишнього середовища PC – T – C – B – P (DPSIR): PC – рушійні сили; T – тиск; C – стан; B – вплив; P – реагування [4].

Рушійні сили (Driving force) – соціально-економічні фактори та види діяльності, що посилюють або зменшують навантаження на довкілля. *Показники тиску (Pressure)* характеризують пряме антропогенне навантаження на довкілля, що здійснюється через викиди та скиди забруднюючих речовин (ЗР), використання природних ресурсів. *Показники стану (State)* – це показники, які відносяться до поточного стану та тенденцій змін навколишнього середовища і включають також параметри якості основних складових довкілля. *Показники впливу (Impact)* – це наслідки зміни довкілля для здоров'я населення, а також для природних екосистем і біологічного різноманіття. *Показники реагування (Respons)* – конкретні дії, що спрямовані на вирішення екологічних проблем [4].

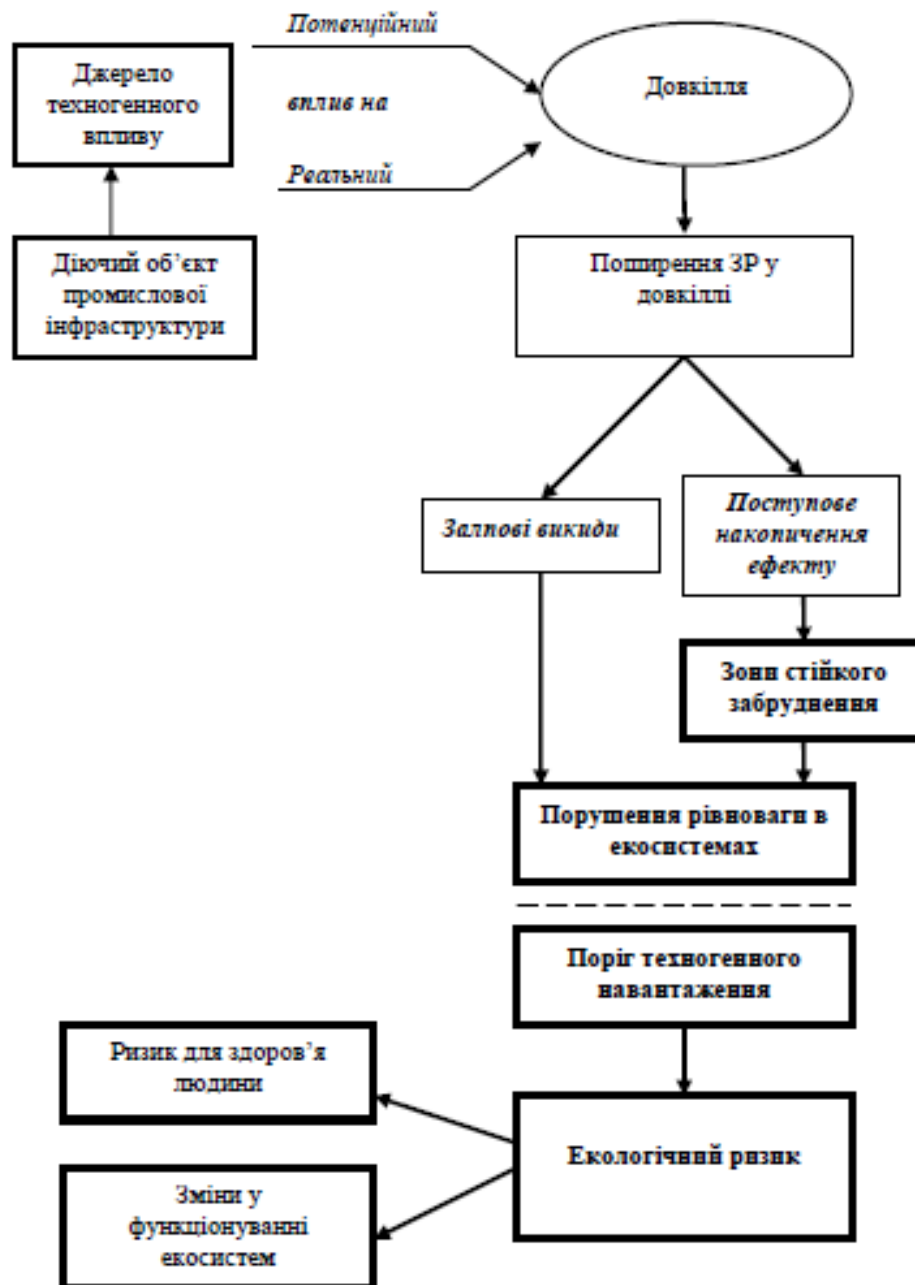


Рисунок 1.1 – Концептуальна модель оцінки техногенного навантаження [3]

Відповідні екологічні показники згідно з даною схемою поділяються на декілька груп, які одночасно характеризують стан і рівень техногенного навантаження на довкілля:

– А. *Забруднення атмосферного повітря та порушення озонового шару атмосфери* (викиди ЗР в атмосферне повітря, якість атмосферного повітря в міських населених пунктах, використання озонруйнуючих речовин);

– В. *Зміна клімату* (температура повітря, атмосферні опади, викиди парникових газів);

– *С. Водні ресурси* (відновлювальні ресурси прісних вод, забір прісних вод, побутове водовикористання у розрахунку на душу населення, втрати води, повторне і оборотне використання прісної води, якість питної води, *БСК* та концентрація азоту амонійного в річковій воді, біогенні речовини в прісній воді та в прибережних морських водах, забруднені стічні води).

– *Д. Біорізноманіття та ліси* (природні території, що підлягають особливій охороні, ліси та інші лісовкриті землі, види, що знаходяться під загрозою зникнення, і види, що охороняються, тенденції зміни чисельності і розповсюдження окремих видів);

– *Е. Земельні ресурси та ґрунти* (вилучення земель із продуктивного обороту, райони, що зазнають ерозії ґрунтів);

– *Ф. Сільське господарство* (використання мінеральних і органічних добрив, пестицидів);

– *Г. Енергетика* (кінцеве енергоспоживання, загальний об'єм енергоспоживання, енергоємність, енергоспоживання на основі відновлюваних джерел);

– *Н. Транспорт* (пасажирообіг, вантажообіг, склад парку дорожніх механічних транспортних засобів у розбивці по видах палива, що використовується, середній вік парку дорожніх механічних транспортних засобів);

– *І. Відходи* (утворення відходів, транскордонні перевезення небезпечних відходів, переробка та вторинне використання відходів, кінцеве видалення відходів) [4].

1.1 Методи оцінки техногенного впливу на повітряний басейн

Оцінка якісних показників атмосферного повітря базується на двох основних підходах (методах) [1]:

1) метод порівняння, під яким розуміється порівняння визначеної або розрахованої величини будь-якого показника (параметра) з нормативним значенням – метод гранично допустимої концентрації (*ГДК*);

2) метод інтегральної оцінки, який дозволяє надати оцінку якості повітряного басейну окремого району або населеного пункту в цілому за певними ЗР на основі розрахунку комплексних показників.

Метод *ГДК* на даний час є найбільш поширеним не тільки для оцінки стану атмосферного повітря, а й інших природних середовищ. Але Постановою Кабінету Міністрів України № 827 від 14.08.2019 р. прийнята нова редакція «Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [5], в якому запропоновано нові

нормативні показники якості атмосферного повітря. На даний час триває імплементація цього нормативно-законодавчого документу.

Розглянемо більш детально методики оцінки якості атмосферного повітря за окремими ЗР (групою ЗР). На практиці найбільш часто застосовуються індекси забруднення атмосфери (*IЗА*), визначення яких розрізняються за методичним підходом.

Найбільш поширеним є застосування методики розрахунку за результатами нормування на величину *ГДК*, отриманих на мережі пунктів спостережень за забрудненням атмосфери (ПСЗА). Такі *IЗА* (*I*) розраховують за формулою:

$$I = \left(\frac{q_p}{ГДК_{mp}} \right)^{C_i}, \quad (1.1)$$

$$\text{або } I = \left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i}, \quad (1.2)$$

де q_p та \bar{q} – відповідно максимальна та середня концентрації ЗР в атмосферному повітрі, мг/м³;

C_i – константа, що має значення 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1; 2; 3; 4-го класу небезпеки ЗР і дозволяє привести ступінь шкідливості *i*-ої ЗР до ступеня шкідливості *SO*₂ [6].

При значеннях *IЗА* ≤ 1 вважається, що якість повітряного басейну за вмістом окремої ЗР відповідає санітарно-гігієнічним вимогам [6].

Комплексний індекс забруднення атмосфери (*KIЗА*) – це кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери, утвореного *n* речовинами, наявним в атмосфері міста. *KIЗА*(*I_n*) розраховують за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i} \right)_i. \quad (1.3)$$

KIЗА може розраховуватись по одному або декількох (*K*) ПСЗА міста як сума всіх *IЗА* [6].

Як *KIЗА* можна також використовувати індекс *I*₅, який враховує значення одиничних *IЗА* тих п'яти ЗР, для яких ці значення найбільші:

$$I_5 = \sum_{i=1}^5 I_i. \quad (1.4)$$

За значенням *I*₅ виділяють такі класи забруднення атмосферного повітря: *I*₅ < 2,5 – чисте атмосферне повітря; *I*₅ = 2,5 – 7,5 – слабо

забруднене; $I_5 = 7,6 - 12,5$ – забруднене; $I_5 = 12,6 - 22,5$ – сильно забруднене; $I_5 = 22,6 - 52,5$ – високо забруднене; $I_5 > 52,5$ – екстремально забруднене атмосферне повітря [6].

Слід зазначити, що *KIZA* враховує всі ЗР, за якими ведуться спостереження у певному місті. Проте при порівняльному аналізі для різних міст кількість ЗР, за якими проводяться спостереження, може відрізнятися. У даному випадку показник I_5 більш об'єктивно характеризує стан забруднення атмосфери. Він враховує 5 найбільш значущих ЗР, що в певному розумінні уніфікує результати оцінки. Також досвід показує, що ЗР, які не увійшли до «першої п'ятірки», фактично несуттєво впливають на значення *KIZA*.

Деякі *IЗА* базуються на непрямих показниках забруднення атмосфери. Так, Герберт Інхабер для Канади запропонував індекс, який базується на інформації щодо викидів завислих речовин і діоксиду сірки. Для різних районів Канади цей показник визначався за формулою:

$$I_{ki} = \frac{M_i / N}{\overline{M}_i / \overline{N}}, \quad (1.5)$$

де \overline{M}_i – сумарні викиди ЗР для всієї території Канади;

M_i – сумарні викиди ЗР для окремого району;

N і \overline{N} – чисельність населення відповідно окремого району і Канади в цілому [6].

Слід відзначити, що величина I_{ki} є показником внеску району (або міста) у формування загального рівня забруднення атмосферного повітря окремою ЗР [6].

Окрім того, Герберт Інхабер запропонував використовувати ще один *IЗА*, який ґрунтується на такому фізичному показнику як видимість:

$$I_k = \frac{B_i}{2B}, \quad (1.6)$$

де B_i – видимість для окремого району;

B – видимість у «чистому» повітрі, що отримана шляхом осереднення результатів спостережень на двох північних станціях Канади [6].

На жаль, застосування такого показника є складною задачею, оскільки при проведенні спостережень за якістю атмосферного повітря на мережі ПСЗА видимість не визначається. Також, постає питання отримання показника «чистого» повітря, що в умовах України може бути можливим, мабуть, лише у заповідних територіях.

А.В. Приймак [6] пропонує як *ІЗА* використовувати «індекс небезпеки забруднення»:

$$I_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n k_i^2}, \quad (1.7)$$

де k_i – перевищення *ГДК* розглянутої домішки [6].

Майже аналогічний показник запропонований білоруськими вченими, який називається сумарний показник забруднення атмосферного повітря:

$$P = \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2}, \quad (1.8)$$

де K_i – концентрації ЗР 1; 2; 4-го класів небезпеки в частках *ГДК*, приведені до біологічно еквівалентного 3-го класу небезпеки за коефіцієнтами ізоефективності (для 1 класу – 2,0; 2 класу – 1,5; 3 класу – 1,0; 4 класу – 0,8) [7].

Так, формули (1.7 – 1.8) мають однаковий математичний запис і фактично однакову фізичну сутність. Відмінністю є врахування класів небезпеки ЗР у формулі (1.8). Виходячи з математичних формул, обидва показника можна віднести до групи комплексних показників. Тобто можливе порівняння з *КІЗА*, а не з *ІЗА*.

Агентством з охорони навколишнього середовища США визначається індекс якості атмосферного повітря (*Air Quality Index – AQI*), який розраховується на підставі індексів концентрацій таких ЗР: озон, завислі речовини, оксид вуглецю, діоксид сірки і діоксид азоту. Згідно до розробленої шкали індексу *AQI* виділено декілька інтервалів значень у залежності від ступеня впливу різних концентрацій даних ЗР на здоров'я людини, а також систему колірних позначень кожного ступеня забруднення. Розрахунок *AQI* включає такі етапи: визначення максимальної концентрації ЗР з усіх вимірювань у кожній з підконтрольних територій; знаходження інтервалу, в який потрапляє вимірювана концентрація даної ЗР; обчислення індексу за формулою; округлення отриманого результату до цілих. Індекс розраховують за формулою:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (Cp - BP_{Lo}) + I_{Lo}, \quad (1.9)$$

де Cp – осереднена концентрація ЗР;

BP_{Hi} – межа інтервалу значень, яка більше або що дорівнює Cr ;

BP_{Lo} – межа інтервалу значень, менше Cr ;

I_{Hi} – значення AQI , що відповідає BP_{Hi} ;

I_{Lo} – значення AQI , що відповідає BP_{Lo} [8].

Шкала індексів AQI має характеристики, наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Шкала індексів AQI [8]

Рівень впливу на здоров'я	Добрий	Помірний	Шкідливий для чутливих груп	Шкідливий	Дуже шкідливий	Небезпечний
Числове значення	0 – 50	51 – 100	101 – 150	151 – 200	201 – 300	301 – 500

Майже аналогічний підхід запропоновано канадськими вченими. В якості комплексного показника в Канаді використовується індекс здоров'я за якістю атмосферного повітря (*The Air Quality Health Index – AQHI*) [9]. Показник розраховується за даними про вміст 3 ЗР: озон, завислі речовини, діоксид азоту. Він може приймати значення від 1 до 10, яким відповідає розроблена шкала кольорів (рис. 1.2). При значеннях індексу в діапазоні 1 – 3 ризик для здоров'я низький, в діапазоні 4 – 6 – помірний, в діапазоні 7 – 10 високий, більше 10 – дуже високий.



Рисунок 1.2 – Шкала ранжування за значенням $AQHI$ [9]

У Франції для інтегральної оцінки забруднення атмосферного повітря використовують індекс $ATMO$. Він розраховується за вмістом чотирьох ЗР: діоксид сірки, діоксид азоту, озон і завислі речовини. Для кожної із ЗР розраховується первинний індекс, а I_{ZA} за день розраховується шляхом сумування максимальних первинних індексів. У табл. 1.2 представлена шкала розрахунку індексу $ATMO$ [7].

Метеорологічний департамент Великобританії публікує прогнози якості повітряного басейну, в яких рівень забруднення повітря характеризується індексом, який приймає значення від 1 до 10 і відповідним йому рівнем забруднення (1 – 3 – низький, 4 – 6 – помірний, 7 – 9 – високий, 10 – дуже високий). Ці рівні встановлені на основі впливу кожної ЗР на здоров'я.

Таблиця 1.2 – Шкала індексу забруднення атмосфери *АТМО* (Франція) [7]

Індекс <i>АТМО</i>	Діапазон середніх із максимальних годинних концентрацій, мкг/м ³			Діапазон середніх денних концентрацій (ТЧ ₁₀ , мкг/м ³)
	<i>SO</i> ₂	<i>O</i> ₃	<i>NO</i> ₂	
Дуже добрий	0 – 39	0 – 29	0 – 29	0 – 9
Дуже добрий	40 – 79	30 – 54	30 – 54	10 – 19
Добрий	80 – 119	55 – 79	55 – 84	20 – 29
Добрий	120 – 159	80 – 104	85 – 109	30 – 39
Середній	160 – 199	105 – 129	110 – 134	40 – 49
Посередній	200 – 249	130 – 149	135 – 164	50 – 64
Посередній	250 – 299	150 – 179	165 – 199	65 – 79
Поганий	300 – 399	180 – 209	200 – 274	80 – 99
Поганий	400 – 499	210 – 239	275 – 399	100 – 124
Поганий	≥ 500	≤ 240	≥ 400	≥ 125

При розрахунку індексу враховують концентрації озону, діоксиду азоту, діоксиду сірки і завислих речовин [7]. Даний індекс майже аналогічний показнику *AQNI*, який використовується в Канаді.

У Бельгії використовується індекс якості атмосферного повітря *VELATMO*, методика розрахунку якого подібна методикі розрахунку *AQI* (США). Індекс розраховується за даними вимірювань на мережі моніторингу вмісту озону, діоксиду азоту, діоксиду сірки і завислих речовин. В залежності від концентрації ЗР значення індексу також варіює в межах від 1 (відмінна якість повітря) до 10 (дуже погана) [7].

У Китаї для оцінки якості атмосферного повітря застосовують індекс забруднення повітря *API*. При розрахунку даного показника враховують концентрації діоксиду сірки, діоксид азоту і ТЧ₁₀. Використовується спеціальна шкала, згідно з якою визначається компонент з найвищим рівнем забруднення повітря. Значення *API* обчислюють за рівнем забруднення повітря певним інгредієнтом згідно з формулою [7]:

$$API = \max (I_1, I_2, \dots, I_n). \quad (1.10)$$

За значеннями *API* виділяють такі категорії якості (рівня забруднення) атмосфери: *API* = 0 – 50 – відмінна якість; *API* = 51 – 100 – добра; *API* = 101 – 150 – незначно забруднене повітря; *API* = 151 – 200 – слабо забруднене; *API* = 201 – 250 – середньо забруднене; *API* = 251 – 300 – середньо-сильно забруднене; *API* > 300 – сильно забруднене повітря [7].

Розглянуті вище показники оцінки стану і якості повітряного басейну, які застосовуються у країнах ЄС, США, Канаді, Китаї тощо враховують досить обмежену кількість речовин, особливо *AQNI* (Канада) і *API* (Китай). В Україні на даний час у багатьох містах однією із ЗР, по якій відзначаються постійні суттєві перевищення *ГДК*, є формальдегід. Тому

застосування даних показників для оцінки якості атмосферного повітря, в тому числі і впливу на здоров'я, не є показовим з урахуванням особливостей забруднення повітряного басейну регіонів України.

Відповідно до «Державних санітарних правила охорони атмосферного повітря населених місць» [10] в Україні для оцінки якості атмосферного повітря можна використовувати порівняння з показником гранично допустимого забруднення (*ГДЗ*). Оцінка фактичного (або прогнозного) рівня забруднення повітряного басейну здійснюється шляхом порівняння показника забруднення (*ПЗ*) з показником *ГДЗ*. Допустимим вважається рівень, що не перевищує *ГДЗ* [10].

Показник забруднення повітряного басейну однією речовиною розраховується за формулою:

$$ПЗ = \frac{С}{ГДК} \cdot 100\% , \quad (1.11)$$

де *С* – фактична (прогнозна) концентрація певної ЗР, мг/м³ [10].

Оцінка забруднення виконується з урахуванням кратності перевищення *ПЗ* відповідного йому нормативу (*ГДЗ*) і включає визначення рівня забруднення (припустимий, неприпустимий) та ступеню його небезпечності (безпечний, слабо небезпечний, помірно небезпечний, небезпечний, дуже небезпечний) згідно з табл. 1.3 [10].

Таблиця 1.3 – Параметри оцінки забруднення атмосферного повітря [10]

Рівень забруднення	Ступінь небезпечності	Кратність перевищення <i>ГДЗ</i>	Відсоток випадків перевищення <i>ГДЗ</i>
Припустимий	Безпечний	< 1	0
Неприпустимий	Слабо небезпечний	> 1 - 2	> 0 – 4
Неприпустимий	Помірно небезпечний	> 2 – 4,4	> 4 – 10
Неприпустимий	Небезпечний	> 4,4 – 8	> 10 – 25
Неприпустимий	Дуже небезпечний	> 8	> 25

Показник *ГДЗ* повітряного басейну – відносний інтегральний критерій оцінки забруднення атмосферного повітря, який характеризує інтенсивність та характер сумісної дії всієї сукупності присутніх у ньому ЗР. *ГДЗ* визначається для кожного випадку на основі експериментально визначених і затверджених коефіцієнтів комбінованої дії (*Ккд*) (додаток А). *Ккд* відображає характер сумісної біологічної дії одночасно присутніх в атмосферному повітрі ЗР. *ГДЗ* розраховується за формулою:

$$ГДЗ = K_{\kappa\delta} \cdot 100 \% . \quad (1.12)$$

У разі присутності у повітрі однієї домішки $ГДЗ = 100 \%$ [10].

В Австралії також використовується індекс якості повітря AQI . Аналізується вміст 5 ЗР, а саме озону, діоксиду азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю і завислих речовин. Розрахунок AQI проводиться за формулою:

$$I_P = (C_P / C_{Ps}) \cdot 100 \% , \quad (1.13)$$

де I_P – індекс забруднення;

C_P – концентрація ЗР;

C_{Ps} – стандартна концентрація ЗР [11].

Відповідно до значень AQI виділяють 5 категорій якості атмосферного повітря (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Категорії якості повітря за значенням AQI (Австралія) [11]

Категорія	Діапазон AQI
Дуже добра (VG) якість повітря	0 – 33
Добра (G) якість повітря	34 – 66
Нормальна (F) якість повітря	67 – 99
Погана (P) якість повітря	100 – 149
Дуже погана (VP) якість повітря	≥ 150

Як видно, принципи розрахунку $ПЗ$ (Україна) і показника AQI (Австралія) суттєво співпадають. В основу покладено розрахунок відношення фактичної концентрації до певного нормативу, вираженого у відсотках. В одному випадку при розрахунку $ПЗ$ визначається додатково відсоток випадків перевищення 100-відсоткового порогу, в іншому при розрахунку AQI визначається лише кратність перевищення нормативного значення.

Т.А. Акимова і Ю.М. Мосейкин [4] запропонували «енергетичний» підхід у визначенні індексу забруднення повітря ($ІЗП$) для окремої території:

$$ІЗП = 0,05 \cdot \left(\frac{P_o}{B_o} + \frac{A}{T} \right), \quad (1.14)$$

де P_o – енергетичне споживання кисню, тис.т/рік;

B_o – біопродукція кисню, тис.т/рік;

A – річна сума викидів ЗР від стаціонарних джерел, т/рік;

T – площа території, км² [4].

Цей підхід може бути застосований для оцінки забруднення повітря в умовах України в межах значної території країни. При цьому аналіз забруднення за вмістом окремих ЗР в даному випадку не передбачається.

Для оцінки техногенного навантаження на повітряний басейн застосовуються також різні підходи. Так, одним з них є розрахунок для міста в цілому коефіцієнту небезпеки підприємств у розрахунку на одне підприємство міста ($\overline{КНП}$):

$$\overline{КНП} = 1/k \sum_{i=1}^k КНП_i, \quad (1.15)$$

де $КНП_i$ – коефіцієнт небезпеки для i -го підприємства [12].

При цьому $КНП$ розраховується за формулою:

$$КНП = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ГДКсд_i} \right)^{\alpha_i}, \quad (1.16)$$

де n – кількість шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємства;

M_i – маса викиду i -ої речовини, т/рік;

$ГДКсд_i$ – середньодобова $ГДК$ i -ої ЗР, мг/м³;

α_i – константа, що дозволяє привести ступінь шкідливості i -ої речовини до шкідливості діоксиду сірки та приймає залежно від класу небезпеки речовини (1, 2, 3, 4) відповідно значення 1,7; 1,3; 1,0; 0,9.

Результати розрахунку категорії небезпеки підприємства в залежності від значення $КНП_i$ класифікуються згідно з розробленими характеристиками техногенного навантаження на повітряний басейн (табл. 1.5) [1].

Таблиця 1.5 – Характеристика техногенного навантаження на повітряний басейн міст за показником $\overline{КНП}$ [1]

Значення $\overline{КНП}$	Категорія небезпеки	Характеристика рівня техногенного навантаження
$\geq 10^8$	I	високе
$10^8 > \overline{КНП} \geq 10^4$	II	підвищене
$10^4 > \overline{КНП} \geq 10^3$	III	помірне
$< 10^3$	IV	низьке

Рівень техногенного навантаження на повітряний басейн можна оцінювати на основі статичних даних із застосуванням набору показників, які поділяються на дві групи:

1) група індикаторів деструктивної дії, яка відображає техногенне навантаження;

2) група індикаторів конструктивної дії, яка характеризує природоохоронні заходи, що покращують стан повітряного басейну регіону [13].

Перелік показників з розподілом на відповідні групи наведений у табл. 1.6. Застосування такого підходу дає можливість, в першу чергу, визначити рівень техногенного навантаження на повітряний басейн області порівняно з показниками по країні в цілому. Також даний метод можна використовувати при порівняльній оцінці навантаження на окремі регіони України.

Таблиця 1.6 – Показники стану атмосферного повітря [13]

Індикатори техногенного навантаження викидами шкідливих речовин	Індикатори активності діяльності щодо зниження впливу
1. Обсяг викидів, тис. т, в т.ч.: - стаціонарними джерелами; - пересувними джерелами. 2. Питома вага регіону у загальних обсягах викидів (відношення обсягу викидів в регіоні до загального обсягу в країні). 3. Викиди стаціонарними джерелами за видами економічної діяльності (в т.ч. середній обсяг викидів 1 підприємства). 4. Індекс викидів (відношення обсягу викидів поточного і базового 1990 р. у %). 5. Сумарні питомі викиди (відношення сумарного обсягу викидів до площі регіону, т/км ²). 6. Структура викидів автотранспортом від використання окремих видів палива, тис. т і у %.	1. Обсяг уловлених та знешкоджених шкідливих речовин, тис. т. 2. Частка уловлених та знешкоджених шкідливих речовин у загальному обсязі утворених стаціонарними джерелами, %. 3. Темпи скорочення уловлення та знешкодження шкідливих речовин (відношення кількості уловлених та знешкоджених шкідливих речовин поточного та базового року, %). 4. Обсяг утилізованих шкідливих речовин, тис. т. 5. Частка утилізованих шкідливих речовин у загальному обсязі уловлених, %.

1.2 Методи оцінки техногенного впливу на поверхневі води

Стосовно оцінки якості природних вод, то існує 3 основні групи методів оцінки: метод зіставлення; методи оцінки якості вод як середовища існування для гідробіонтів; методи комплексної оцінки якості або забрудненості водних об'єктів із застосуванням інтегральних показників [1].

Метод зіставлення заснований на порівнянні хімічних, фізичних і біологічних показників якості вод з відповідними нормативними характеристиками [1].

Методи оцінювання якості вод як середовища існування передбачають оцінку на основі даних гідробіологічних спостережень.

Найбільш часто на практиці використовуються методи комплексної оцінки із застосуванням інтегральних (комплексних) показників якості.

Комплексна оцінка забруднення поверхневих вод – це уявлення про ступінь їх забруднення або якість, що виражається через певну систему показників або обмежену сукупність характеристик складу і властивостей води, що порівнюються з критеріями якості води або нормативами для даного виду водокористування (водоспоживання) [14].

Одним з найпростіших методів комплексної оцінки є графічний метод. Даний метод базується на складанні графічної моделі якості поверхневих вод, яка є круговою діаграмою зі шкалами-радіусами, що відповідають певному гідрохімічному показнику. Ціна ділення кожного радіусу дорівнює значенню концентрації показника (рис. 1.3), що визначає придатність води для певного виду водокористування, тобто ГДК ЗР у водному об'єкті [15]. Застосування цього методу дає можливість одночасно визначити наявність перевищення ГДК за вмістом всіх показників якості, по яких проводяться спостереження. Даний метод також умовно можна віднести до першої групи, тобто до методів зіставлення.

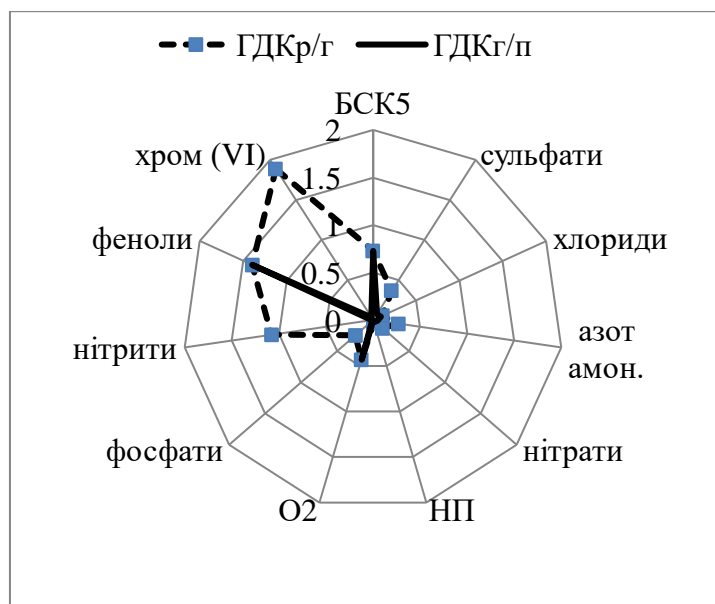


Рисунок 1.3 – Приклад реалізації графічного методу оцінки для двох видів водокористування: рибогосподарського і господарсько-питного

Найбільш часто при виконанні комплексної оцінки якості і забруднення природних вод використовуються індекси забруднення (якості) вод, тобто узагальнена чисельна оцінка якості води за сукупністю основних показників і видами водокористування [14].

Існує ряд методик щодо розрахунку індексів забруднення води і відповідної класифікації якості вод на їх основі. Одним з таких показників є індекс забруднення води (ІЗВ), який розраховується за 6 показниками (азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти (НП), феноли, розчинений

кисень, BCK_5) згідно з формулою [14]:

$$IЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (1.17)$$

де C_i – середнє арифметичне значення показника якості води.

Існує модифікація $IЗВ$ [14], при якій враховується 2 обов'язкових (BCK_5 і розчинений кисень) і 4 інших показники з найбільшими відношеннями до $ГДК$. Вказані 4 показники обираються з такого списку: сульфати, хлориди, $XСК$, азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, фосфати, залізо загальне, марганець, мідь, цинк, хром (VI), нікель, алюміній, свинець, ртуть, миш'як, НП і СПАР. Критерії оцінки якості вод за $IЗВ$ наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Критерії оцінки якості вод за $IЗВ$ [14]

Клас якості води	Характеристика класу	Значення $IЗВ$ для поверхневих вод	Значення $IЗВ$ для морських вод
I	Дуже чиста	$\leq 0,30$	$\leq 0,25$
II	Чиста	0,31 – 1,00	0,26 – 0,75
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	0,76 – 1,25
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	1,26 – 1,75
V	Брудна	4,01 – 6,00	1,76 – 3,00
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	3,01 – 5,00
VII	Надзвичайно брудна	$> 10,0$	$> 5,00$

Слід відзначити, що перевагою розрахунку $IЗВ$ є можливість його застосування при обмеженій кількості показників якості вод, а також для оцінки якості морських вод в умовах відсутності в Україні будь-якої іншої рекомендованої методики для оцінки якості морських вод.

У 1998 р. для оцінки якості поверхневих вод була запропонована методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [16]. Особливістю її є можливість використання не лише для поверхневих водних об'єктів, а й для естуаріїв, тобто в умовах України пригирлових частин річок Дунай, Дністер, Дніпро і Південний Буг.

Екологічна оцінка згідно з даною методикою повинна включати три блоки показників: сольового складу; трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні); специфічні показники токсичної та радіаційної дії.

Оцінка може бути двох видів: ґрунтовою або орієнтовною [16].

Інтегрування оцінок якості води за певними показниками з визначенням узагальнених значень класів і категорій якості води здійснюється на підставі аналізу значень показників в межах відповідних блоків. Воно полягає у розрахунку середніх і найгірших значень для трьох блокових індексів, а саме: для індексу забруднення компонентами

сольового складу (I_1); для трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) індексу (I_2); для індексу специфічних показників токсичної і радіаційної дії (I_3). Так, визначається шість значень блокових індексів: $I_{1сер}$ та $I_{1мак}$; $I_{2сер}$ та $I_{2мак}$; $I_{3сер}$ та $I_{3мак}$ [16].

Етап визначення об'єднаної оцінки якості вод полягає в обчисленні інтегрального або екологічного індексу I_E , який визначається за формулою:

$$I_E = \frac{(I_1 + I_2 + I_3)}{3}, \quad (1.18)$$

де I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу;

I_2 – індекс трофо-сапробіологічних показників;

I_3 – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії [16].

Екологічний індекс якості води та блокові індекси розраховуються для середніх і для найгірших значень категорій окремо. Класифікація за значенням екологічних індексів наведена у табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Класи та категорії якості поверхневих вод суші та естуаріїв України за екологічною класифікацією [16]

Клас якості вод	I		II		III		IV	V
Категорія якості вод	1	2	3	4	5	6	7	
Назва класів і категорій якості вод за їх станом	відмінні	добрі		задовільні		погані	дуже погані	
	відмінні	дуже добрі	добрі	задовільні	посередні	погані	дуже погані	
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти	дуже чисті	чисті		забруднені		брудні	дуже брудні	
	дуже чисті	чисті	досить чисті	слабо забруднені	помірно забруднені	брудні	дуже брудні	
Трофність (переважно тип)	оліготрофні	мезотрофні		евтрофні		політрофні	гіпертрофні	
	оліготрофні оліго-мезотрофні	мезотрофні	мезо-евтрофні	евтрофні	евполітрофні	політрофні	гіпертрофні	
Сапробність	олігосапробні		β -мезосапробні		α -мезосапробні		полісапробні	
	β -олігосапробні	α -олігосапробні	β' -мезосапробні	β'' -мезосапробні	α' -мезосапробні	α'' -мезосапробні	полісапробні	

Значною перевагою даної методики є врахування біотичної складової при оцінці. Але на даний час найчастіше виконується орієнтовна оцінка через відсутність усіх даних із загального переліку показників якості.

Також, як зазначалось раніше авторами у роботі [17], дана методика має рід інших недоліків:

- не враховані рибогосподарські ГДК по показниках *Zn, Mn, Hg*;
- не враховується ефект сумарної дії речовин;
- кожному показнику надається номер категорії (індекс), який не залежить від значення показника в межах цієї категорії;
- крім того, присвоєння цілого значення індексу (номера категорії) показнику якості повинне приводити до граничної (убік погіршення) інтегральної оцінки якості водного середовища.

Тому з урахуванням викладених вище недоліків співробітниками Одеського державного екологічного університету (ОДЕКУ) була запропонована методика комплексної оцінки якості вод за допомогою узагальненого індексу їх стану I_{CB} [18]. Розроблено нову шкалу категорій якості (табл. 1.9) на основі одиниць хронічної токсичності [16].

Таблиця 1.9 – Класифікація якості поверхневих вод за I_{CB} [17]

Категорія якості	1	2	3	4	5	6	7
I_{CB}	$\leq 0,25$	0,26 – 0,50	0,51 – 1,00	1,01 – 2,00	2,01 – 4,00	4,01 – 8,00	$> 8,00$
Характеристика якості	дуже чиста	чиста	досить чиста	слабо забруднена	помірно забруднена	брудна	дуже брудна

Назва категорій якості співпадає з наведеними у методиці [16]. У методиці ОДЕКУ для врахування ефекту сумарної дії речовин розглядається 8 блоків показників:

- 1) мінералізація;
- 2) трофо-сапробіологічні;
- 3) із загальносанітарною лімітуючою ознакою шкідливості (ЛОШ);
- 4) із токсикологічною ЛОШ;
- 5) із санітарно-токсикологічною ЛОШ;
- 6) із органолептичною ЛОШ;
- 7) із рибогосподарською ЛОШ;
- 8) радіаційної дії [17].

У країнах Євросоюзу і США широко використовується методика оцінки якості вод за загальним індексом якості вод, який містить хімічний індекс Баха (CI) та індекс якості води Американської санітарної служби ($NSF WQI$). По своїй структурі ці індекси побудовані аналогічно, але у CI представлені 8 хімічних показників якості вод, а WQI включає 9 мікробіологічних і фізичних показників [19].

Показники якості переводяться в безрозмірну шкалу від 0 до 100 за допомогою «кривих якості». Загальний індекс якості розраховується за формулою:

$$I = \prod_{s=1}^n q_i^{w_i}, \quad (1.19)$$

де n – число параметрів;

q_i – частковий індекс i -го параметра (визначається за «кривими якості»);

w_i – вага i -го параметра [19].

Особливістю обох індексів є вагові коефіцієнти, які відображають значущість кожного з показників в інтегральній оцінці, що отримані шляхом узагальнення експертних оцінок. Для CI вагові коефіцієнти представлені в табл. 1.10, для WQI – у табл. 1.11 [19].

Таблиця 1.10 – Параметри, що входять до розрахунку CI , та їх вагові коефіцієнти [19]

Параметр	Ваговий коефіцієнт
Насиченість киснем, %	0,20
BCK_5 , мг/дм ³	0,20
Температура води, °С	0,08
Азот амонійний, мг/дм ³	0,15
Азот нітратний, мг/дм ³	0,10
Фосфат-іон, мг PO_4^{3-} /дм ³	0,10
pH	0,10
Електропровідність, мкСм/см	0,07
$n = 8$	$\sum = 1$

Таблиця 1.11 – Параметри, що входять до розрахунку WQI , та їх вагові коефіцієнти [19]

Параметр	Ваговий коефіцієнт
Насиченість киснем, %	0,17
Фекальні коліформи, кл/100мл	0,16
pH	0,11
BCK_5 , мг/дм ³	0,11
Зміна температури відносно точки, яка знаходиться на 1 милі вище за течією, °С	0,10
Загальні фосфати	0,10
Азот нітратний, мг NO_3^- , мг/дм ³	0,10
Мутність, JTU's	0,08
Сума іонів, мг/дм ³	0,07
$n = 9$	$\sum = 1$

Індекси *CI* і *WQI* можуть використовуватися як засіб для контролю якості води [19]. Отримані значення індексів розподіляються за класами і категоріями якості (табл. 1.12 – 1.13).

Таблиця 1.12 – Оцінка якості води за *CI* [19]

<i>CI</i>	Клас	Оцінка якості води
100 – 83	I	Чиста
< 83 – 73	I	Незначно забруднена
< 73 – 56	II	Помірно забруднена
< 56 – 44	II – III	Забруднена
< 44 – 27	III	Сильно забруднена
< 27 – 17	III – IV	Дуже сильно забруднена
< 17 – 0	IV	Занадто брудна

Таблиця 1.13 – Оцінка якості води за *WQI* [19]

<i>WQI</i>	Клас	Стан якості води
100 – 90	1	Відмінний
< 90 – 70	2	Добрий
< 70 – 50	3	Опосередкований
< 50 – 25	4	Поганий
< 25 – 0	5	Дуже поганий

Слід зазначити, що перелік показників, які використовуються для оцінки в даному випадку, не містить будь-яких ЗР (НП, феноли, пестициди, *СПАР* та ін.). Показники гідрохімічного стану також представлені дуже обмеженою кількістю. Вказані індекси *CI* і *WQI* призначені, в першу чергу, для оцінки гідрохімічного стану поверхневих вод без урахування показників забруднення внаслідок антропогенного впливу.

Ще одним комплексним показником є показник хімічного забруднення *ПХЗ-10*, який визначається по 10 інгредієнтам. Серед них виділяють загальні, які є обов'язковими для оцінки якості вод (розчинений кисень, *БСК*, зважені речовини, речовини азотної групи та ін.), і речовини, найбільш характерні для конкретного водного об'єкта. Визначається *ПХЗ-10* за формулою:

$$ПХЗ-10 = \sum_{i=1}^{10} \frac{C_i}{ГДК_i} \quad (1.20)$$

Причому, для концентрацій ЗР, що не перевищують їх *ГДК*, відношення $C / ГДК$ приймається таким, що дорівнює 1. Так, враховується тільки наднормативне забруднення [20].

При використанні даного показника необхідно розробляти власну класифікацію якості вод, яка може змінюється в широких межах: від 10, що відповідає незабрудненій воді, і вище.

Комплексним показником, який опосередковано враховує розподіл речовин за ЛОШ, є показник Ерісмана. Він оцінює якість води на основі розподілу ЗР за чотирма критеріями:

- санітарний (Wc): розчинений кисень, БСК, ХСК і спеціальні ЗР, характерні для конкретного водного об'єкта, які нормуються згідно із загально-санітарних норм;
- органолептичний (Wo): запах, завислі речовини і спеціальні ЗР, нормовані за органолептичними критеріями;
- санітарно-токсикологічний (Wcm);
- епідеміологічний (We) [20].

Для кожної групи речовин виконується оцінка за формулою:

$$W_j = 1 + \frac{\sum (\delta_{ij} - 1)}{N_j}, \quad \delta_{ij} = \frac{C_{ij}}{ГДК_i}, \quad (1.21)$$

де N_j – кількість речовин у j -ій групі [20].

На основі значень групових показників робиться висновок про рівень забруднення води згідно з табл. 1.14. Якщо $\delta < 1$, то його значення приймається таким, що дорівнює 1 [20]. Тобто застосовується той же принцип, що і при розрахунку ПХЗ-10.

Таблиця 1.14 – Класифікація якості води за показником Ерісмана [20]

Рівень забруднення	Значення показників			
	Wo	Wc	Wcm	We
Припустимий	1	1	1	1
Помірний	> 1 – 1,5	> 1 – 3	> 1 – 3	> 1 – 10
Високий	> 1,5 – 2	> 3 – 6	> 3 – 10	> 10 – 100
Надзвичайно високий	> 2	> 6	> 10	> 100

У сучасних умовах при наявності даних моніторингу за значним переліком показників використовується також методика оцінки якості поверхневих вод суші за гідрохімічними показниками (методика Гідрохімічного інституту). Її підґрунтям є поєднання диференційованого і комплексного підходів до оцінки якості води і використання набору відносних критеріїв. Даний методичний підхід дозволяє встановити рівень і клас якості за величиною комбінаторного індексу забруднення ($KIЗ$), виділити пріоритетні ЗР за кількістю і складом лімітуючих показників забруднення ($ЛПЗ$), а також виконати диференційовану оцінку [14].

Оцінку із застосуванням даного методу можна проводити для різних видів водокористування (рибогосподарських, господарсько-питних, культурно-побутових).

Для встановлення рівня якості води виконується класифікація за ознаками повторюваності випадків забруднення, кратності перевищення

нормативів та урахування характеру забруднення.

На першому етапі встановлюється міра стійкості забруднення, за яку приймається величина повторюваності випадків перевищення $ГДК$:

$$H_i = \frac{N_{ГДК}}{N_i}, \quad (1.22)$$

де H_i – повторюваність випадків перевищення $ГДК$ по i -му інгредієнту;

$N_{ГДК}$ – число результатів аналізу, в яких вміст i -го інгредієнта перевищує його $ГДК$;

N_i – загальне число результатів аналізу по i -му інгредієнту [14].

Характеристика забруднення за показником міри стійкості наведена у табл. 1.15.

Таблиця 1.15 – Класифікація води водних об'єктів за ознаками повторюваності випадків забруднення [14]

Повторюваність, %	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0; 10	одинична	a	1
10; 30	нестійка	b	2
30; 50	стійка	c	3
50; 100	характерна	d	4

На другому етапі встановлюється рівень забруднення, мірою якого є показник кратності перевищення $ГДК$:

$$K_i = \frac{C_i}{C_{ГДК}}, \quad (1.23)$$

де K_i – кратність перевищення $ГДК$ по i -му інгредієнту;

C_i – концентрація i -го інгредієнта у воді водного об'єкта, мг/дм³;

$C_{ГДК}$ – $ГДК$ i -го інгредієнта, мг/дм³.

За кратністю перевищень нормативів окремою ЗР виділяють 4 ступеня рівня забруднення (табл. 1.16) [14].

При інтегруванні I і II етапів класифікації по кожному з урахованих показників отримують узагальнені оцінки якості води (табл. 1.17), яким присвоюються узагальнені оціночні бали S_i . Значення S_i можуть змінюватися від 1 до 16 [14]. Якість води є функцією не тільки окремих її елементів і тривалості їхнього впливу, але і кількості цих елементів і комбінацій їх концентрацій. Врахування спільного впливу цих факторів здійснюється на третьому етапі класифікації [14].

Таблиця 1.16 – Класифікація води водних об'єктів за рівнем забруднення [14]

Кратність перевищення нормативів	Характеристика рівня забруднення	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0; 2	низький	a_1	1
2; 10	середній	b_1	2
10; 50	високий	c_1	3
50; 100	дуже високий	d_1	4

Таблиця 1.17 – Можливі варіації якісного стану води по окремих інгредієнтах і показниках забрудненості [14]

Комплексна характеристика стану забрудненості води	Загальні оціночні бали S_i		Характеристика якості води
	виражені умовно	абсолютні значення	
Одинична забрудненість низького рівня	$a \times a_1$	1	Слабко забруднена
Одинична забрудненість середнього рівня	$a \times b_1$	2	Забруднена
Одинична забрудненість високого рівня	$a \times c_1$	3	Брудна
Одинична забрудненість дуже високого рівня	$a \times d_1$	4	Брудна
Нестійка забрудненість низького рівня	$b \times a_1$	2	Забруднена
Нестійка забрудненість середнього рівня	$b \times b_1$	4	Брудна
Нестійка забрудненість високого рівня	$b \times c_1$	6	Дуже брудна
Нестійка забрудненість дуже високого рівня	$b \times d_1$	8	Дуже брудна
Стійка забрудненість низького рівня	$c \times a_1$	3	Брудна
Стійка забрудненість середнього рівня	$c \times b_1$	6	Дуже брудна
Стійка забрудненість високого рівня	$c \times c_1$	9	Дуже брудна
Стійка забрудненість дуже високого рівня	$c \times d_1$	12	Неприпустимо брудна
Характерна забрудненість низького рівня	$d \times a_1$	4	Брудна
Характерна забрудненість середнього рівня	$d \times b_1$	8	Дуже брудна
Характерна забрудненість високого рівня	$d \times c_1$	12	Неприпустимо брудна
Характерна забрудненість дуже високого рівня	$d \times d_1$	16	Неприпустимо брудна

Так, якість води визначається через комплексний показник, одержаний сумуванням узагальнених оціночних балів усіх визначених у створі ЗР – комбінаторний індекс забруднення [14]:

$$KIZ = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (1.24)$$

Підсумковий етап класифікації здійснюється на основі величини *KIZ*. Оскільки величина *KIZ* залежить від числа врахованих показників, то встановлення рівня забрудненості води та її придатності для використання здійснюється в залежності від їхньої кількості (табл. 1.18). Виділяють 4 класи якості води: слабо забруднена, забруднена, брудна, дуже брудна [14].

Таблиця 1.18 – Класифікація якості води за величиною *KIZ* [14]

Клас якості води	Розряд класу якості води	Стану забрудненості води	Величина <i>KIZ</i> з урахуванням кількості <i>ЛПЗ</i>					
			без урахування числа <i>ЛПЗ</i>	1 <i>ЛПЗ</i> (k=0,9)	2 <i>ЛПЗ</i> (k=0,8)	3 <i>ЛПЗ</i> (k=0,7)	4 <i>ЛПЗ</i> (k=0,6)	5 <i>ЛПЗ</i> (k=0,5)
I	-	слабко забруднена	1n	0,9n	0,8n	0,7n	0,6n	0,5n; 1,0n
II	-	забруднена	1n; 2n	0,9n; 1,8n	0,8n; 1,6n	0,7n; 1,4n	0,6n; 1,2n	1,0n; 2,0n
III	-	брудна	2n; 4n	1,8n; 3,6n	1,6n; 3,2n	1,4n; 2,8n	1,2n; 2,4n	1,0n; 1,5n
III	а	брудна	2n; 3n	1,8n; 2,7n	1,6n; 2,4n	1,4n; 2,1n	1,2n; 1,8n	1,5n; 2,0n
III	б	брудна	3n; 4n	2,7n; 3,6n	2,4n; 3,2n	2,1n; 2,8n	1,8n; 2,4n	2,0n; 3,0n
IV	а	дуже брудна	4n; 6n	3,6n; 5,4n	3,2n; 4,8n	2,8n; 4,2n	2,4n; 3,6n	3,0n; 4,0n
IV	б	дуже брудна	6n; 8n	5,4n; 7,2n	4,8n; 6,4n	4,2n; 5,6n	3,6n; 4,8n	4,0n; 5,0n
IV	в	дуже брудна	8n; 10n	7,2n; 9,0n	6,4n; 8,0n	5,6n; 7,0n	4,8n; 6,0n	5,0n; 5,5n
IV	г	дуже брудна	10n; 11n	9,0n; 9,9n	8,0n; 8,8n	7,0n; 7,7n	6,0n; 6,6n	0,5n; 1,0n

Із загального числа врахованих показників якості води визначаються *ЛПЗ*. До *ЛПЗ* відносять будь-яку ЗР, забрудненість води якою визначається як «стійка дуже високого рівня» або «характерна високого і дуже високого рівня». Величина сумарного оціночного балу S_i за таким інгредієнтом дорівнює чи більше 11 (згідно з методикою) [14]. Хоча практика розрахунків показує, що мінімальне значення S_i для *ЛПЗ* може дорівнювати 12 і більше [14].

Оцінку якості вод можна виконувати також із застосуванням індивідуальних показників якості. До таких показників можна віднести *БСК₅*. У роботах [20, 21] запропоновано виконання оцінки за вмістом даного показника. *БСК₅* можна розглядати як опосередковану

характеристику екологічного стану водних об'єктів. Принципи оцінки наведено у табл. 1.19.

Таблиця 1.19 – Класифікація якості вод за величиною BCK_5 [20, 21]

Рівень забруднення	Вміст BCK_5 , мг/дм ³	Екологічний стан водного об'єкту
Дуже чисті	0,5 – 1,0	Стадія оборотних змін
Чисті	1,1 – 1,9	
Помірно забруднені	2,0 – 2,9	Порогова стадія
Забруднені	3,0 – 3,9	Стадія необоротних змін
Брудні	4,0 – 10,0	

У Німеччині однією з методик оцінки є методика, яка ґрунтується на використанні обмеженого числа критеріїв якості води: індекс сапробності, BCK_5 , концентрації азоту амонійного і розчиненого кисню. Оцінка якості води виконується шляхом порівняння фактичних даних про концентрацію показників якості з критеріями для якості, які відповідають певному ступеню (класу) якості (табл. 1.20). Відповідно до методики виділено 7 класів якості вод [14]. Слід відзначити, що дана методика також дозволяє виконати оцінку екологічного стану водного об'єкта.

Таблиця 1.20 – Класифікація якості вод (Німеччина) [14]

Клас якості	Ступінь органічного забруднення	Сапробність	Індекс сапробності	Хімічний критерій, мг/дм ³		
				BCK_5	NH_4^+	O_2
I	Від незабруднених до слабо забруднених	Олігосапробна зона	1,0...<1,5	2	сліди	>8
I–II	Слабо забруднені	Оліго-β-мезосапробна перехідна зона	1,5...<1,8	1–2	близько 0,1	>8
II	Помірно забруднені	β-мезосапробна зона	1,8...<2,3	2–6	<0,3	>6
II–III	Критично забруднені	β-α-мезосапробна перехідна зона	2,3...<2,7	5–10	<1	>4
III	Сильно забруднені	α- мезосапробна зона	2,7...<3,2	7–13	від 0,5 до значних концентрацій	>2
III–IV	Дуже сильно забруднені	α- мезополісапробна зона	3,2...<3,5	10–20	значні концентрації	<2
V	Надмірно забруднені	полісапробна зона	3,5...<4,0	>15	значні концентрації	<2

Підходи щодо оцінки техногенного навантаження на поверхневі водні об'єкти різняться за методичною основою і переліком показників, які використовуються для оцінки.

Для аналізу екологічного стану і техногенного впливу на басейн річки можна використовувати метод оцінки за ступенем використання її водних ресурсів. При цьому використовуються такі показники:

- W_z – об'єм забору води з річкової мережі, млн. м³;
- W_y – об'єм втрат річкового стоку внаслідок забору підземних вод, які гідравлічно пов'язані з річковою мережею млн. м³;
- W_ϕ – фактичний об'єм стоку річки, млн. м³;
- W_c – загальний об'єм скиду стічних вод (СВ) у річкову мережу, млн. м³;
- W_{ze} – об'єм скиду забруднених СВ у річкову мережу, млн. м³ [22].

З урахуванням вище наведених показників розраховуються такі параметри [22]:

- використання річкового стоку

$$q_1 = \frac{W_z + W_y}{W_\phi + W_c} \cdot 100\%, \quad (1.25)$$

- безповоротне водоспоживання

$$q_2 = \frac{W_z + W_y - W_c}{W_\phi} \cdot 100\%, \quad (1.26)$$

- надходження СВ до річкової мережі

$$q_3 = \frac{W_c}{W_y} \cdot 100\%, \quad (1.27)$$

- скид СВ

$$q_4 = \frac{W_{ze}}{W_\phi} \cdot 100\%. \quad (1.28)$$

Відповідно до зазначених параметрів прийняті критерії оцінки стану річки (табл. 1.21).

Також одним з підходів є оцінка ефективності водоспоживання і водовідведення в регіоні. У роботі [23] запропоновані такі коефіцієнти:

Таблиця 1.21 – Критерії оцінки стану річки і її басейну за даними про використання її водних ресурсів [22]

Показник	Катастрофічний	Дуже поганий	Поганий	Задовільний	Добрий
q_1 – використання річкового стоку	>20	20 – 16	15 – 11	10	<10
q_2 – безповоротне водоспоживання	>25	25 – 20	19 – 11	10	<10
q_3 – надходження стічних вод до річкової мережі	>75	75 – 50	49 – 16	15 – 6	<6
q_4 – скид стічних вод	>10	10 – 6	5 – 2	1	<1

– коефіцієнт ефективності водопостачання

$$K_1 = \frac{Q_{заб} - Q_{втр.тр.}}{Q_{заб}}, \quad (1.29)$$

– коефіцієнт ефективності водовідведення

$$K_2 = 1 - \frac{Q_{б/оч.}}{Q_{ск} - Q_{н/чис.}}, \quad (1.30)$$

– комплексний коефіцієнт оцінки ефективності водокористування

$$K = K_1 \cdot K_2, \quad (1.31)$$

де $Q_{заб.}$ – забір води з природних водних джерел для використання, млн. м³;
 $Q_{втр.тр.}$ – втрати води при транспортуванні, млн. м³;
 $Q_{б/оч.}$ – скидання СВ без очищення, млн. м³;
 $Q_{ск.}$ – скидання СВ у водні об'єкти, млн. м³;
 $Q_{н/чис.}$ – обсяг нормативно-чистих (які не потребують очищення) СВ, що скидаються у водні об'єкти, млн. м³ [23].

Для оцінки рівня техногенного навантаження від об'єктів комунального господарства можна використовувати показник питомої кратності перевищення ГДК $K_{num.пер}$, запропонований авторами роботи [24]. Методика дозволяє оцінити забрудненість СВ комунальних підприємств за 5 показниками, що найбільш повно характеризує роботу біологічних очисних споруд (БСК_{повн}, азот нітратний, нітритний, амонійний, фосфати).

Для врахування впливу обсягів скидів стічних вод на водні об'єкти введені поправочні коефіцієнти, що враховують фактичне водовідведення станцій біологічного очищення:

$$K_{num.пер} = \left[\frac{1}{n} \cdot \sum \frac{C_i}{ГДК_i} \right], \quad (1.32)$$

де $K_{\text{ннт.пер}}$ – питома кратність перевищення ГДК;
 C_i – концентрація i -ої ЗР в очищених СВ відповідно, мг/дм³;

$$K_Q = 0,4666 \cdot Q_{\text{факт}}^{0,2545}, \quad (1.33)$$

де K_Q – поправочний коефіцієнт;

$Q_{\text{факт}}$ – фактичний обсяг водовідведення, м³/добу [24].

Індекс техногенного навантаження на водні об'єкти $ITН_{ВО}$ визначається за формулою [24]:

$$ITН_{ВО} = K_Q \cdot K_{\text{ннт.пер}}. \quad (1.34)$$

Класифікація рівнів техногенного навантаження відповідно до розробленої класифікації наведена у табл. 1.22.

Таблиця 1.22 – Класифікація рівнів техногенного навантаження на водні об'єкти [24]

Рівень навантаження	$K_{\text{ннт.пер}}$	$ITН_{ВО}$
Незначний	< 1	< 2
Низький	1 – 5	2 – 8
Середній	5 – 10	8 – 16
Високий	10 – 20	16 – 33
Критичний	> 20	> 33

Іншим цікавим методичним підходом щодо оцінки техногенного навантаження на водні об'єкти можна вважати методику інтегральної оцінки навантаження на озера [25].

Навантаження від скидів СВ – це відношення обсягів СВ, що скидаються в озеро протягом року, до самої водойми:

$$L = (v / V) \cdot 100 \%, \quad (1.35)$$

де v – обсяг СВ, тис. м³;

V – об'єм озера, тис. м³ [25].

Питома маса ЗР s_i є одиницю маси поллютанта, що надходить в одиницю об'єму озера протягом року:

$$s_i = m_i / V, \quad (1.36)$$

де m_i – маса i -ої ЗР, кг/рік [25].

В якості інтегральної оцінки техногенного впливу можна використовувати «техногенний спектр» – послідовність техногенних чисел для кожного техногенного потоку:

$$t_i = M_{Ti} \cdot I, \quad (1.37)$$

де t_i – техногенне число;

$$I_i = 1 / C_{Li}, \quad (1.38)$$

де I_i – безрозмірний техногенний індекс для i -ої речовини, характеризує її токсичність у порівнянні з умовною (одиничною або базовою) речовиною, ГДК якої дорівнює 1;

C_{Li} – ГДК i -ої речовини;

M_{Ti} – маса i -ої шкідливої речовини [25].

При розрахунку техногенного навантаження важливо враховувати природні особливості озер, що досліджуються. Представимо безрозмірний техногенний індекс для i -ої речовини як $1 / C_{фон}$ ($C_{фон}$ – умовна фонові концентрація i -ої речовини в озерній воді). Оскільки скид СВ здійснюється в різні за обсягом водойми, то логічно замість показника M_{Ti} використовувати питому масу ЗР s_i . Тоді техногенне число можна представити так [25]:

$$t_i = s_i \cdot I_i. \quad (1.39)$$

Із порівняння сум техногенних чисел для декількох озер послідовно по кожному з контрольованих показників можна визначити у складі СВ, що скидаються, речовини, які найбільше впливають на води озера:

$$P_j = \sum_{i=1}^l t_i, \quad (1.40)$$

де P_j – сума техногенних чисел, $j = 1, 2, \dots, l$ – досліджувані водойми, $i = 1, 2, \dots, k$ – ЗР у СВ [25].

Узагальнене техногенне число T можна записати як [25]:

$$T = \sum_{i=1}^k t_i. \quad (1.41)$$

Як і для повітряного басейну, оцінку техногенного навантаження на водні об'єкти можна виконати із застосуванням статичних даних та індикаторів деструктивної і конструктивної дії (табл. 1.23).

Таблиця 1.23 – Показники стану водних об’єктів [13]

Індикатори техногенного навантаження на водні ресурси	Індикатори активності діяльності щодо зниження забруднення водних об’єктів
1. Обсяг загального водовідведення, тис. т. 2. Темп зростання загального обсягу скиду СВ (відношення різниці обсягу скидів поточного і базового до базового періоду, %). 3. Частка скиду забруднених СВ (відношення обсягу забруднених СВ до загального обсягу СВ, %). 4. Індекс водовідведення та скиду забруднених СВ (відношення відповідних показників поточного та базового періоду, %). 5. Кількість водозаборів із виявленим погіршенням якості питної води, од.	1. Потужність очисних споруд, млн. м ³ . 2. Темп зростання потужностей (відношення різниці потужностей поточного і базового до базового періоду, %). 3. Обсяги очищення СВ на очисних спорудах, млн. м ³ . 4. Обсяг і частка у нормативно очищених СВ біологічного і механічного очищення, млн. м ³ , %.

1.3 Методи оцінки техногенного впливу на ґрунтовий покрив і геологічне середовище

1.3.1 Методи оцінки стану і якості

Існують такі основні підходи до оцінки стану і техногенного навантаження на ґрунтовий покрив і геологічне середовище (ГС):

1) заснований на прямих кількісних оцінках компонентів (породи, підземні води, ґрунти, донні відклади, геологічні явища) – ГДК, ГДР, фонові значення і т.д.;

2) за ранжуванням території за рівнем техногенного навантаження (незмінені, слабо-, середньо-, сильно- і дуже сильно змінені, катастрофічно змінені);

3) за оцінкою ролі «геологічної матриці» у сучасному стані екосистем (ЕС).

У багатьох роботах виділяються 4 рівні (класи) природно-антропогенних порушень: норми, ризику, кризи, катастрофи або лиха [26].

Зона екологічної норми (Н) містить у собі території без помітного зниження продуктивності та сталості ЕС, її відносної стабільності; значення прямих критеріїв нижчі за ГДК або фонові значення; деградація ґрунтового покриву (яружна, вітрова і водна ерозії зі знищенням гумусового шару і вторинне засолення із втратою родючості; площа земель, виведена із сільськогосподарського землекористування) складає менш 5 % території.

Зона екологічного ризику (Р) містить у собі території з помітним зниженням продуктивності і сталості ЕС, що веде до спонтанної деградації ЕС, але ще зі зворотними порушеннями; територія вимагає розумного

господарського використання і заходів щодо поліпшення екологічних умов; значення прямих критеріїв перевищують *ГДК* або фонове значення; деградовано 5 – 20 % ґрунтового покриття від загальної площі.

Зона екологічної кризи (К) містить у собі території із сильним зниженням продуктивності і втратою сталості ЕС і майже незворотними порушеннями; необхідне вибіркоче господарське використання території із застосуванням докорінних заходів щодо поліпшення екологічних умов; значення прямих критеріїв значно перевищують *ГДК* або фонове значення; деградовано 20 – 50 % ґрунтового покриття від загальної площі.

Зона екологічного лиха (Л) містить у собі території з повною втратою продуктивності і сталості ЕС, практично необоротними порушеннями ЕС, що виключають їх з господарського використання; значення прямих критеріїв у десятки разів перевищують *ГДК* або фонове значення; деградовано більш 50 % ґрунтового покриття від загальної площі.

Зоні екологічної норми (*Н*) відповідають *задовільні (З)*, екологічного ризику (*Р*) – *умовно задовільні (УЗ)*, екологічної кризи (*К*) – *незадовільні (НЗ)*, екологічного лиха (*Л*) – *катастрофічні (К)* еколого-геологічні умови.

При санітарно-гігієнічному нормуванні такі враховуються показники шкідливості:

- *транслокаційний (К₁)* – лімітуючий перехід нормованої ЗР у рослину;
- *міграційний водний (К₂)* – лімітуючий перехід нормованої ЗР у водне середовище;
- *міграційний повітряний (К₃)* – лімітуючий перехід нормованої ЗР у повітряне середовище;
- *загально санітарний (К₄)* – оцінюючий здатність ґрунту до самоочищення і ґрунтовий мікробоценоз (табл. 1.24) [27].

Відзначені показники розглядаються як критерії оцінки забруднення родючих ґрунтів і гірських порід неорганічними й органічними речовинами. На підставі даних показників розроблено чотири критерії ступеня забруднення ґрунтів і вод органічними і неорганічними речовинами: слабкий, середній, сильний і дуже сильний (табл. 1.25) [27].

Загальне оцінювання рівня забруднення ґрунтів виконують за певними критеріями якості (родючість ґрунтів, вміст гумусу, солей, пестицидів, важких металів (ВМ), площа дефляції та ін.), а також виділяють слабо-, середньо- і сильно забруднені ґрунти. У слабо забруднених ґрунтах вміст ЗР не перевищує *ГДК* або фонове значення. У середньо забруднених ґрунтах перевищення *ГДК* (фону) незначне і не приводить до істотних змін властивостей ґрунтів. У сильно забруднених ґрунтах вміст ЗР у кілька разів перевищує *ГДК* (фон), що істотно позначається як на властивостях ґрунтів, так і на якості сільськогосподарської продукції [26] (табл. 1.26).

Таблиця 1.24 – ГДК окремих хімічних речовин в ґрунтах і допустимий вміст за показником шкідливості

Показник	Клас небезпеки	Форма, вміст	ГДК, мг/кг ґрунту з урахуванням фону	Показник шкідливості (K_{max})			
				K_1	K_2	K_3	K_4
Zn	1	рухома	23,0	23,0	200,0	-	37,0
Cu	2	-«-	3,0	3,5	72,0	-	3,0
Ni	2	-«-	4,0	6,7	14,0	-	4,0
Co	2	-«-	5,0	25,0	> 1000,0	-	5,0
Cr	2	-«-	6,0	6,0	6,0	-	6,0
F	1	водорозчинна	10,0	10,0	10,0	-	25,0
Pb	1	валовий вміст	30,0	35,0	260,0	-	30,0
As	1	-«-	2,0	2,0	15,0	-	10,0
Hg	1	-«-	2,1	2,1	33,0	2,5	5,0
Pb + Hg	1	-«-	20,0+1,0	20,0+1,0	30,0+2,0	-	50,0+2,0
Sb	2	-«-	4,5	4,5	4,5	-	50,0
Mn	3	-«-	1500,0	3500,0	1500,0	-	1500,0
V	3	-«-	150,0	170,0	350,0	-	150,0
Mn + V	3	-«-	1000,0+100,0	1500,0+150,0	2500,0+200,0	-	1000,0+100,0
H ₂ S	3	-«-	0,4	160,0	140,0	0,4	160,0
H ₂ SO ₄	1	-«-	160,0	180,0	380,0	-	160,0
NO ₃ ⁻	2	-«-	130,0	180,0	130,0	-	225,0
Бензол	2	-«-	0,3	3,0	10,0	0,3	50,0
Толуол	2	-«-	0,3	0,3	100,0	0,3	50,0
Альфаметилстирол	2	-«-	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0
Стирол	2	-«-	0,1	0,3	100,0	0,1	1,0
Ксилол	2	-«-	0,3	0,3	100,0	0,4	1,0

Таблиця 1.25 – Критерії оцінки ступеню забрудненості ґрунтів

Вміст у ґрунті, мг/кг	Клас небезпеки сполук		
	1	2	3
<i>Неорганічні речовини</i>			
> K_{max}	дуже сильний	дуже сильний	сильний
1 ГДК - K_{max}	дуже сильний	сильний	середній
2 фона - ГДК	слабий	слабий	слабий
<i>Органічні речовини</i>			
> ГДК	дуже сильний	сильний	середній
2 ГДК - 5 ГДК	сильний	середній	слабий
1 ГДК - 2 ГДК	середній	слабий	слабий

Таблиця 1.26 – Класи (зони) екологічного стану ґрунтів

Показник	Класи (зони) екологічного стану			
	З (Н)	УЗ (Р)	НЗ (К)	К (Л)
Родючість ґрунтів, % від потенційного	> 85	85-65	65-25	< 25
Вміст гумусу, % від початкового	> 90	90-70	70-30	< 30
Вміст легкорозчинних солей, % від маси	< 0,6	0,6-1,0	1,0-3,0	> 3
Вміст токсичних солей, % від маси	< 0,3	0,3-0,4	0,4-0,6	> 0,6
Площа вторинна засолених ґрунтів, %	< 5	5-20	20-50	> 50
Вміст пестицидів в ґрунті, од. ГДК	< 0,5	0,5-1,0	1-3	> 5
Вміст ЗР, од. ГДК	< 1	1-3	3-10	> 10
Залишковий вміст нафти і НП у ґрунті, % от маси	< 1	1-5	5-10	> 10
Ступень змитості ґрунтових горизонтів	немає	змити горизонт А ₁ або 0,5 горизонту А	змити горизонт А і Ві частина АВ	змити горизонти А і В
Глибина змитості ґрунтових горизонтів, % ґрунтового профілю	< 10	10-30	30-50	> 50
Площа дефляції, %	< 5	10-20	20-40	> 40
Площа рухомих писків, %	< 5	5-15	15-25	> 30

Виділяють 5 груп показників (індикаторів) якості ґрунтів [28]:

- морфологічні (потужність гумусового шару ґрунту і глибина залягання глейового горизонту);
- фізичні (показники гранулометричного складу, щільність ґрунту, параметри структури ґрунту, діапазон активної вологи);
- хімічні і агрохімічні (вміст гумусу, макро- і мікроелементів живлення, водорозчинних солей);
- фізико-хімічні (склад ввібраних основ, ємність поглинання, реакція ґрунтового розчину);
- санітарні (показники хімічного і мікробіологічного забруднення).

Нашу увагу найбільше було приділено аналізу двох груп показників, а саме агрохімічних і санітарних.

В залежності від концентрації агрохімічних показників у ґрунті його якість можна характеризувати певною категорією згідно ДСТУ 4362:2004 (табл. 1.27 – 1.30).

Також розроблено методику характеристики ґрунтів за забезпеченістю мікроелементами (рухомі форми) [30].

Таблиця 1.27 – Групування ґрунтів за вмістом гумусу [29]

Вміст гумусу	Показник, %
Дуже низький	< 1,1
Низький	1,1 – 2,0
Середній	2,1 – 3,0
Підвищений	3,1 – 4,0
Високий	4,1 – 5,0
Дуже високий	> 5,0

Таблиця 1.28 – Групування ґрунтів за вмістом рухомих форм азоту [29]

Ступінь забезпеченості	Вміст гідролізованого азоту, мг/кг		Нитрифікаційна спроможність за Кравковим, мг/кг	Мінеральний азот ($NH_4 + NO_3$), мг/кг
	за Тюриним-Коновою	за Корнфілдом		
Дуже низький	< 30	< 100	< 5	< 10
Низький	30 – 40	100 – 150	5 – 8	10 – 15
Середній	41 – 50	151 – 200	9 – 15	16 – 24
Підвищений	51 – 70	> 200	16 – 30	25 – 30
Високий	71 – 100	–	31 – 60	31 – 35
Дуже високий	> 100	–	> 60	> 35

Таблиця 1.29 – Групування ґрунтів за вмістом рухомого фосфору [29]

Вміст рухомого фосфору	За методом Кірсанова, мг/кг	За методом Чирикова, мг/кг	За методом Мачигіна, мг/кг
Дуже низький	< 26	< 21	< 11
Низький	26 – 50	21 – 50	11 – 15
Середній	51 – 100	51 – 100	16 – 30
Підвищений	101 – 150	101 – 150	31 – 45
Високий	151 – 250	151 – 200	46 – 60
Дуже високий	> 250	> 200	> 60

Таблиця 1.30 – Групування ґрунтів за вмістом рухомого калію [29]

Вміст обмінного калію	За методом Кірсанова, мг/кг	За методом Чирикова, мг/кг	За методом Мачигіна, мг/кг
Дуже низький	< 41	< 21	< 51
Низький	41 – 80	21 – 40	51 – 100
Середній	81 – 120	41 – 80	101 – 200
Підвищений	121 – 170	81 – 120	201 – 300
Високий	171 – 250	121 – 180	301 – 400
Дуже високий	> 250	> 180	> 400

Нестача у ґрунті рухомих форм мікроелементів живлення, зазвичай, компенсується внесенням органічних та мінеральних добрив, які містять ці поживні речовини [28]. У табл. 1.31 наведено відомості щодо групування ґрунтів за вмістом окремих мікроелементів.

Таблиця 1.31 – Групування ґрунтів за вмістом рухомих сполук мікроелементів [30]

Ступінь забезпеченості	Мікроелемент, мг/кг					
	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Co</i>	<i>Mo</i>	<i>B</i>
Дуже низький	< 5,1	< 1,1	< 0,11	< 0,07	< 0,05	< 0,15
Низький	5,1–7,0	1,1–1,5	0,11–0,15	0,0–0,10	0,05–0,07	0,15–0,22
Середній	7,1–10,0	1,6–2,0	0,16–0,20	0,11–0,15	0,08–0,10	0,23–0,33
Підвищений	10,1–15,0	2,1–3,0	0,2–0,30	0,16–0,20	0,11–0,15	0,33–0,50
Високий	15,1–20,0	3,01–5,0	0,31–0,50	0,20–0,30	0,16–0,22	0,51–0,70
Дуже високий	> 20,0	> 5,0	> 0,50	> 0,30	> 0,22	> 0,70

Як видно з наведених вище таблиць, відзначається 6 ступенів забезпеченості ґрунтів тим чи іншим елементом (показником), що дозволяє проводити аналіз по окремих областях (районах), а також порівняльний аналіз по регіонах України в цілому.

У групі санітарних показників найбільшу увагу приділяється показникам хімічного забруднення. Оцінку можна проводити за ступенем забруднення ґрунтів окремими ЗР (ВМ, бенз(а)піреном, НП та ін.). У випадках, коли для ЗР не існує ГДК, визначення рівня забруднення проводиться у порівнянні з фоновими або кларковими значеннями [1].

Наприклад, ґрунти вважаються забрудненими, коли концентрація НП у них досягає такої величини, при якій починаються негативні екологічні зміни у довкіллі: порушується екологічна рівновага в ґрунті, гине ґрунтова біота, падає продуктивність чи настає загибель рослин, відбувається зміна морфології, водно-фізичних властивостей ґрунтів, знижується їх родючість, створюється небезпека забруднення підземних і поверхневих вод. Небезпечним рівнем забруднення ґрунту вважається рівень, що перевищує межу потенціалу самоочищення. У закордонних країнах прийнято вважати верхнім безпечним рівнем (*H*) вміст НП у ґрунті 1 – 3 г/кг; початок серйозної екологічної шкоди (*K*) – при вмісті 20 г/кг і вище. В Україні ГДК нафти і НП у ґрунті не визначені, мається лише посилення на орієнтовно допустиму концентрацію (*ОДК*) – 0,2 мг/кг [31]. Ця величина *ОДК* явно завищена, оскільки геохімічний фон вмісту НП у ґрунті в європейських країнах коливається в межах 0,01 – 0,5 г/кг, а у великих містах України звичайні концентрації становлять 1 – 3 г/кг [32]. На територіях, що прилягають до підприємств переробки, видобутку нафти, фон досягає 6 г/кг. Згідно з КД 41-5804046-200-91 *ОДК* для ґрунту складає 4 г/кг. З огляду на фізико-географічні умови України, а також характер землекористування, що впливають на процеси самоочищення при забрудненні довкілля НП, доцільно прийняти наступні ступені градації забруднення ґрунтів НП (з урахуванням кларку):

- *незабруднені ґрунти* – до 1,5 г/кг;
- *слабке забруднення* – від 1,5 до 5 г/кг;
- *середнє забруднення* – від 5 до 13 г/кг;

- *сильне забруднення* – від 13 до 25 г/кг;
- *дуже сильне забруднення* – більше 25 г/кг.

Слабке забруднення може бути ліквідоване в процесі самоочищення ґрунту у найближчі 2 – 3 роки, середнє – протягом 4 – 5 років. Початком серйозної екологічної шкоди є забруднення ґрунту НП у концентраціях, що перевищують 13 г/кг, тому що при таких концентраціях починається міграція НП у підґрунтові води, істотно порушується екологічна рівновага в ґрунтовому біоценозі [33]. Вважається, що концентрації менш 5 г/кг відповідають зоні екологічної норми (*H*), 5 – 13 г/кг – ризику (*P*), 13 – 15 г/кг – кризи (*K*) і більше 25 г/кг – зоні лиха (*L*).

Оцінка рівня хімічного забруднення ґрунтів може проводитися за показниками, які були розроблені при проведенні геохімічних і геогігієнічних досліджень територій за коефіцієнтом концентрації (K_c). Він визначається як відношення вмісту елемента *i*-го виду в досліджуваному об'єкті (C_i) до фонового значення (C_ϕ) [34]:

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi}. \quad (1.42)$$

Замість фонового значення хімічного елемента можна використовувати *ГДК* певної ЗР; при цьому розраховують коефіцієнт техногенного геохімічного навантаження (K_i):

$$K_i = \frac{C_i}{C_{ГДК}}, \quad (1.43)$$

де C_i – концентрація хімічного елемента *i*-го виду;

$C_{ГДК}$ – *ГДК* хімічного елемента *i*-го виду [34].

У випадку поліелементного складу техногенної або природної аномалії розраховуються сумарний показник забруднення (Z_c) або сумарний показник навантаження (Z_p), які характеризують ефект впливу на групи елементів. Ці показники розраховуються за формулами:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1), \quad (1.44)$$

$$Z_p = \sum_{i=1}^n K_i - (n - 1), \quad (1.45)$$

де n – число аномальних компонентів, що враховуються.

Оцінка небезпеки техногенного забруднення ґрунтів комплексом металів за значенням Z_c проводиться за оціночною шкалою (табл. 1.32) [34].

Таблиця 1.32 – Орієнтована шкала оцінки небезпеки забруднення ґрунтів за сумарним показником забруднення (Z_c)

Категорія забруднення ґрунтів	Величина Z_c	Зміни показників здоров'я населення в осередках забруднення
Припустима	Менше 16	Найбільш низький рівень захворюваності дітей і мінімальна частота функціональних відхилень.
Помірно небезпечна	16-32	Збільшення загальної захворюваності.
Небезпечна	32-128	Збільшення загальної захворюваності, числа дітей, які часто хворіють, дітей із хронічними захворюваннями, порушеннями функціонального стану серцево-судинної системи.
Надзвичайно небезпечна	Більше 128	Збільшення захворюваності дитячого населення, порушення репродуктивної функції жінок (збільшення токсикозу вагітності, числа передчасних пологів, мертвонароджуваності, гіпотрофій немовлят)

У випадку полікомпонентного техногенного забруднення розраховується також комплексний показник забруднення ($KПЗ$) за формулою [35]:

$$KПЗ = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (1.46)$$

де n – число ЗР.

Еколого-геохімічна оцінка забруднення родючих ґрунтів за значенням $KПЗ$ наведена в табл. 1.33 (n – кількість елементів, що включені у розрахунки).

Таблиця 1.33 – Орієнтована шкала оцінки небезпеки забруднення ґрунтів за $KПЗ$

Рівень забруднення ґрунтів	Величина $KПЗ$
Помірний	$n < KПЗ < 3n$
Високий	$3n < KПЗ < 10n$
Надзвичайно високий	$KПЗ > 10n$

Також одним з показників якості ґрунтів є індекс забруднення ґрунтів ($IЗГ$), який запропоновано Н.О. Богдановим із співавторами [36]:

$$IЗГ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C_{ГДК}} \right) / n. \quad (1.47)$$

За значенням $IЗГ$ виділяють такі категорії якості ґрунтів: $IЗГ < 0,75$ – ґрунти чисті; $IЗГ = 0,75 - 1,0$ – ґрунти проблемні; $IЗГ > 1,0$ – ґрунти забруднені.

У тих випадках, коли для ЗР не встановлено ГДК, визначення ступеня забруднення проводиться в порівнянні з фоновими чи кларковими значеннями, зафіксованими на незабруднених територіях. При цьому необхідно диференціювати ЗР за класом небезпеки. Для ґрунтів, наприклад, за ГОСТ17.4.1.02-83 існує така класифікація (табл. 1.34) [38].

Таблиця 1.34 – Загальна оцінка ступеня забруднення компонентів літосфери з виділенням класів і станів

Оціночний показник	Класи (зони) екологічного стану			
	З (Н)	УЗ (Р)	НЗ (К)	К (Л)
Концентрація всіх елементів і сполук	фонові чи < 1 ГДК	компоненти 2 і 3-го класів небезпеки в межах 1 – 5 ГДК; 1 класу – на рівні 1 ГДК	компоненти 2 і 3-го класів небезпеки в межах 5 – 10 ГДК; 1 класу – 1 – 5 ГДК	компоненти 2 і 3-го класів небезпеки > 10 ГДК; 1 класу – > 5 ГДК

Якщо аналізувати підходи щодо оцінки якості ґрунтів у країнах Євросоюзу і США, то, наприклад, у США виділяються три основні категорії показників якості ґрунту: фізичні, хімічні і біологічні. Але таке групування, за думкою американських вчених, є досить умовним [28].

До *фізичних показників* відносяться дані про режим аерації і гідрологічний статусу ґрунту. До *хімічних показників* відносяться електропровідність, вміст органічної речовини, вміст ґрунтових макро(азоту, фосфору, калію) і мікроелементів живлення; *pH* ґрунтового розчину; вміст потенційних ЗР (ВМ, радіонукліди тощо); ємність поглинання ґрунту. Окремо виділяється органічна речовина ґрунту (ОРГ). ОРГ містить значний перелік біотичних і абіотичних компонентів і є важливою характеристикою якості ґрунту через багато функцій, які ОРГ надає або підтримує. *Біологічними показниками* є матеріали спостережень за чисельністю деяких видів організмів. Результати таких спостережень вказують на здатність ґрунтів функціонувати в певному режимі або швидко повертатися до нормального режиму після екстремальних зовнішніх впливів природного або техногенного походження [28].

У Великобританії на даний час розроблена система показників, яка заснована на визначенні основних функцій ґрунтів. Всі показники також поділяються на хімічні, біологічні і фізичні [28].

До *хімічної групи* індикаторів відносяться: вміст органічного вуглецю; *pH* верхнього шару ґрунту; ємність поглинання катіонів (в шарі ґрунту в 1 м); адсорбційна здатність аніонів у верхньому шарі ґрунту; ступінь насиченості основами ґрунтово-поглинального комплексу; вміст хімічних елементів (зокрема, ВМ) і органічних сполук, що приводять до забруднення ґрунтів. До *біологічної групи* відносяться: вміст вуглецю мікробної біомаси; загальна біомаса ґрунту; біологічний бал; індекс

мікробного розмаїття, заснований на ДНК; ферментативна активність ґрунту. До *фізичної групи* віднесені: інтегрований показник аерації метрової товщі ґрунту; інтенсивність процесів ерозії; стан поверхні ґрунту; вміст стабільних агрегатів; щільність ґрунту; верхня межа пластичності ґрунту до глибини 1 м; фільтраційна здатність ґрунту; вміст воднодиспергованої глини [28].

У роботі британських експертів [37] з питань оцінки якості ґрунтів для аналізу використано 11 показників, по яких визначались конкретні значення (діапазони значень), що характеризують рівень придатності ґрунту для конкретного використання: вміст органічної речовини або органічного вуглецю, значення *pH*, вміст фосфору, загального азоту, щільність, здатність до дренажу, вміст стабільних агрегатів, ВМ, речовин органічного походження, які приводять до забруднення ґрунтів, вміст азоту, що легко мінералізується, параметри шаруватості ґрунту [28].

У національній системі спостережень Франції за ґрунтами прийняті такі агрономічні показники і характеристики: гранулометричний склад, *pH* водного розчину, вміст органічного вуглецю, макро- і мікроелементів живлення (калій, азот, фосфор, бор, мідь та ін.). До переліку екологічних критеріїв відносяться: вміст ВМ, стійких органічних забруднювачів (в т.ч. деяких пестицидів та діоксинів), деяких груп патогенних мікроорганізмів. До переліку біологічних критеріїв віднесено оцінки чисельності певних груп бактерій і грибів, а також чисельність представників ґрунтової фауни [28].

Джерела забруднення підземних вод (ПВ) класифікуються за різними ознаками. Так, за їх *конфігурацією у просторі* вони поділяються на такі:

- *місцеві* – площа (F) < 100 км², довжина (L) < 20 км;
- *обмежено-регіональні* – $F = 100 - 1000$ км², $L = 20 - 200$ км;
- *регіональні* – $F > 1000$ км², $L > 200$ км.

За *ступенем обумовленого ними забруднення ПВ* існує така класифікація:

- джерела *помірного забруднення від фонових* – фон – 1 ГДК;
- джерела *значного забруднення* – 1 – 10 ГДК;
- джерела *екстремального забруднення* – більше 100 ГДК [39].

Існує взаємозв'язок забруднення ПВ із забрудненням атмосферних опадів, вод поверхневого стоку і ґрунтів. В багатьох випадках ґрунтовий шар і породи зони аерації (1 – 3 м) накопичують всі ЗР, що надходять з атмосферного повітря на поверхню землі. Проникнення ЗР здійснюється як природними шляхами (крізь літолого-фаціальні і тектонічні «вікна»), так і шляхами міграції, створеними завдяки техногенній діяльності (кар'єри, колодязі, накопичувачі, полігони тощо). Внаслідок цього ЗР можуть проникати до глибин порядку 1 км і більше (залежно від гідрогеологічних і техногенних факторів).

Найбільшою мірою техногенне забруднення властиве для ПВ зони активного водообміну, які можуть бути розташовані близько до поверхні землі. У гідрогеохімічному відношенні ПВ зони активного водообміну, особливо ґрунтові води (ГВ), звичайно прісні (мініралізація ≤ 1 г/дм³ є об'єктом господарсько-питного водопостачання в багатьох країнах. На їх склад можуть впливати навіть слабомінералізовані забрудненні атмосферні опади.

Зміни якості прісних ПВ зони активного водообміну під впливом техногенних дій можуть виразитися у збільшенні їх мініралізації, вмісту макрокомпонентів (Cl , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+}), мезокомпонентів (Fe^{2+} , Fe^{3+}) і мікрокомпонентів (J , Br , B , F та ін.), у появі в ПВ невластивих їм речовин техногенного походження (СПАР, пестициди та ін.), у зміні температури, pH , Eh , у появі специфічного запаху, кольору і т.д.

При вмісті у воді деяких ЗР (за винятком F^- , NO_3^-) сума їх концентрацій не повинна перевищувати 1:

$$C_1 / C'_1 + C_2 / C'_2 + \dots + C_n / C'_n \leq 1, \quad (1.48)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – виявлені концентрації речовин, мг/дм³;

C'_1, C'_2, \dots, C'_n – ГДК цих же речовин, мг/дм³ [39].

Якщо визначити показники якості води в природних умовах через C_e (фонові значення), а ГДК цих же речовин через C' , то величина C може виражати мініралізацію, загальну жорсткість, концентрацію окремих макро-, мезо- та мікрокомпонентів. У більшості випадків $C_e < C'$, але може бути, що це стосується мініралізації або жорсткості відповідно до стандарту якості, а по окремих компонентах $C > ГДК$.

В.М. Гольдберг [39] виділяє 2 основні стадії техногенного забруднення ПВ:

I – дограничне, початкове забруднення чи ознаки забруднення, тобто вміст ЗР більше C_e , але менше C' . Для цієї стадії забруднення характерне зростання концентрації ЗР у часі, хоча воно залишається нижче значення ГДК:

$$C_e < C \leq C' \quad (1.49)$$

або

$$R_e < R \leq 1, \quad (1.50)$$

де $R_e = C_e / C'$; $R = C / C'$.

У стадії I виділяють 2 ступеня початкового забруднення ПВ (Ia, Ib):

$$Ia: R_e < R \leq 0,5; Ib: 0,5 < R \leq 1. \quad (1.51)$$

II – надграничне забруднення – вміст ЗР вище за ГДК. В стадії II виділяються 3 ступеня забруднення:

$$IIa: 1 < R \leq 10; IIb: 10 < R \leq 100; IIв: R > 100. \quad (1.52)$$

Ступінь IIв – екстремальне забруднення в загальному випадку, а для токсичних речовин екстремальним треба вважати $C > 100$ ГДК.

Найбільш небезпечна стадія II, але не менш важливий своєчасний вияв стадії I. Ці стадії можуть мати місце за межами зони активного впливу техногенних джерел, а також на ділянках водозабірних споруд. Ступінь IIa визначається поблизу порівняно невеликих за інтенсивністю техногенних джерел забруднення; на водозабірних ділянках зустрічається рідко. Якщо забруднення перевищує в 1,5 – 2 рази ГДК, то водозабір звичайно використовується для технічних цілей. Ступені IIб і IIв характерні для ділянок, які зазнають тривалого інтенсивного впливу джерел забруднення.

Для характеристики взаємозв'язку забруднення ПВ із загальним забрудненням доцільно використовується показник схильності до забруднення підземних вод (ПСЗ) [39]:

$$ПСЗ = МТН / ПЗ, \quad (1.53)$$

де МТН – сума вагових одиниць всіх видів відходів (твердих, рідких, газоподібних) промислових, сільськогосподарських і комунальних об'єктів за часовий проміжок (1 рік), віднесений до площі адміністративного району або області, в межах якої розташовані ці об'єкти, т/км² на рік;

ПЗ – показник захищеності ПВ, що виражається в балах.

Виділяють такі градації ПСЗ:

- 1) ПСЗ < 0,01 (дуже низький ступінь схильності);
- 2) ПСЗ = 0,01 – 0,1 (низький ступінь схильності);
- 3) ПСЗ = 0,1 – 1 (помірний ступінь схильності);
- 4) ПСЗ = 1 – 10 (середній ступінь схильності);
- 5) ПСЗ = 10 – 100 (високий ступінь схильності);
- 6) ПСЗ > 100 (дуже високий ступінь схильності) [39].

Формування зони забруднення ПВ – це складні гідродинамічні й фізико-хімічні процеси, які залежать від багатьох факторів.

Істотне значення має відмінність у щільності стічних вод, що фільтруються з поверхні землі (γ_c), від ГВ ($\gamma_в$). Відмінність щільностей утворює неналежне то додатковий градієнт фільтрації, від якого залежить розподіл зони забруднення за потужністю пласта:

$$i_в = (\gamma_c - \gamma_в) / \gamma_c = \Delta\gamma, \quad (1.54)$$

Так, при $\Delta\gamma \leq 0$ ділянка забруднення буде займати верхню частину пласта, а при $\Delta\gamma > 0$ забруднюючий розчин буде занурюватися углиб пласта.

Час опускання забруднюючого розчину на глибину h у випадку $\Delta\gamma > 0$ дорівнює:

$$t = n \cdot h / (k_{\phi} \cdot \Delta\gamma), \quad (1.55)$$

де n – пористість водоносних порід;

k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації водоносних порід.

Горизонтальний природний потік ГВ обмежує глибину проникнення у пласт СВ, що фільтруються з поверхні. Тому СВ розповсюджуються переважно у верхній та середній частині пласта (якщо γ_c незначно більше γ_e). У випадку порівняно невеликого за розміром джерела забруднення, розташованого у покрівлі пласта великої потужності, зона розтікання забруднених ГВ характеризується такими розмірами:

а) безпосередньо під джерелом забруднення:

$$z_0 = \sqrt{Q / (\pi - v_e)}, \quad (1.56)$$

б) униз за напрямком потоку на значному віддаленні від джерела забруднення:

$$z_{\infty} = \sqrt{2Q / (\pi - v_e)}, \quad (1.57)$$

де Q – витрата СВ, що фільтруються із джерела;

$v_e = k_{\phi} \cdot i_e$ – швидкість фільтрації природного потоку ГВ;

i_e – гідравлічний уклон природного потоку ГВ;

k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації водоносних порід.

Чим більше значення v_e і менше Q , тим менша потужність зони розтікання.

Для захисту поверхневих і підземних вод від забруднення токсичними сполуками у залежності від фізико-хімічних властивостей промислових відходів, гідрогеологічних особливостей будують різні типи інженерних споруд. Під час будівництва накопичувачів застосовується комплекс протифільтраційних пристроїв, які не завжди забезпечують належну ізоляцію ГВ.

У зв'язку з цим виникає необхідність регламентації вмісту ЗР, особливо токсичних сполук, у рідких промислових відходах накопичувачів, тому що від вмісту ЗР у водах, які скидаються, залежить їх вміст в ГВ.

Принцип розрахунку граничного вмісту токсичних сполук у рідких відходах накопичувачів заснований на ряді припущень:

– Можливість порушень цілісності протифільтраційного екрану й проникнення токсичних ЗР у ГВ з інфільтраційними водами. Фільтраційні витрати із накопичувачів стоків за різними оцінками складають 12 – 24 % від об'єму стічних вод, які скидаються до накопичувача. Як розрахункова, приймається 20 %-ва витрата на рік від об'єму рідких відходів, що скидаються.

– Допустимо забруднення вод першого від поверхні водоносного горизонту (безпосередньо під накопичувачем), завдяки чому не погіршується якість води у найближчих від накопичувача пунктах водокористування (на межі санітарно-захисних зон). Максимальний вміст токсичних ЗР у ГВ може бути прийнятий 10 ГДК. Нижнім значенням можливого вмісту токсичних ЗР у ГВ може бути їх ГДК. Це відноситься до зони водоносного горизонту поблизу джерел забруднення і до меж впливу водозабірної споруди. Вміст ЗР вище 10 ГДК відповідає екстремальному забрудненню.

– Тривалість надходження токсичної ЗР у ГВ під накопичувачем, яка дорівнює сумі часу його експлуатації та періоду продовження фільтрації СВ після припинення експлуатації накопичувача. Емпірично встановлено, що час повної фільтрації СВ після припинення скиду відходів до накопичувача складає 3 – 7 років (у середньому 5 років).

– Можливість отримання інформації про фільтраційні якості порід у зоні розташування накопичувача, напрямки та швидкості руху вод, потужності водоносного горизонту.

Максимально завдана концентрація токсичних ЗР у ПВ під накопичувачем, виходячи із якої знаходиться гранична концентрація токсичних ЗР у відходах в накопичувачі, визначається з урахуванням змішування СВ, що фільтруються, з ПВ під накопичувачем і розповсюдження суміші ЗР природним потоком ПВ.

Приймається така спрощена схема. Накопичувач схематизується у вигляді квадрату, одна із сторін якого орієнтована за напрямком потоку ПВ. Довжина шляху, який проходять ПВ по водоносному горизонту за 1 рік, значно менша за довжину сторони накопичувача, що має місце у більшості випадків, тому що швидкість фільтрації ПВ звичайно мала, тоді як розміри накопичувачів можуть бути значними. Так, ПВ можуть фільтруватися зі швидкістю 30 – 150 м/рік, тоді як сторона накопичувача може бути довжиною від $n \cdot 100$ м до 3000 м.

Стічні води, що фільтруються із накопичувача, забруднюють насамперед верхню частину водоносного горизонту, потім забруднення розповсюджується вглибину. У малопотужних шарах забруднюється увесь водоносний горизонт, а у горизонтах значної потужності – верхня і середня частини. Тому приймається, що змішування СВ, які фільтруються із накопичувача у ПВ, відбувається по всій потужності пласта, якщо він не

перевищує 20 м, на 80 % – при потужності 20 – 40 м і на 70 % – при потужності більше 40 м.

При розрахунку концентрацій ЗР у ГВ не враховуються відмінності у щільності та в'язкості СВ і ГВ, фізико-хімічні процеси взаємодії між водами й породами, тобто це є схема для консервативних ЗР.

Відстань у м (x_0), яку проходять забруднені води упродовж кожного року (365 діб) вниз по потоку ГВ, можна визначати за формулою:

$$x_0 = k_{\phi} \cdot i_e \cdot 365 / n, \quad (1.58)$$

де i_e – гідравлічний уклон природного потоку ГВ;

k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації водоносних порід;

n – пористість.

Якщо відома відстань від сторони полігону до річки (або будь-якої іншої дрени) L , у який розвантажуються ГВ, то можна оцінити, через скільки років забруднення досягне річки:

$$t = L / x_0. \quad (1.59)$$

Відстань розповсюдження ЗР вгору по потоку дорівнює 100 м, а по сторонах – 200 м, тобто межа розповсюдження ЗР обмежується збоку й зверху по потоку і не обмежується вниз по потоку ГВ.

Граничний вміст токсичної речовини в промислових рідких відходах у накопичувачі визначається за формулою:

$$C_Z = \frac{\{C_{max}(K_m \cdot m \cdot L^2 \cdot n + 0,2W) - K_m \cdot L \cdot m \cdot [X_0 \cdot C_0 + (L \cdot n - X_0)(C_{max} - C_0)(1 - \frac{1}{T})]\}}{0,2W}, \quad (1.60)$$

де C_Z – граничний вміст токсичної ЗР в промислових рідких відходах у накопичувачі, мг/дм³;

C_{max} – максимальна завдана концентрація токсичної ЗР у ГВ під накопичувачем (10 ГДК), мг/дм³;

C_0 – вміст токсичної ЗР у ГВ у природних умовах (фоновий), мг/дм³;

m – потужність водоносного горизонту, м;

K_m – безрозмірний коефіцієнт, який відображає процес змішування СВ і ПВ в залежності від потужності водоносного горизонту ($K_m = 1$ при $m < 20$ м, $K_m = 0,8$ при $m = 20 - 40$ м, $K_m = 0,7$ при $m > 40$ м);

L – довжина сторони накопичувача, м;

n – пористість водоносних порід, безрозмірна величина;

W – річний об'єм СВ, які скидаються до накопичувача, м³;

$0,2W$ – річний об'єм СВ, що фільтруються з накопичувача, м³;

$X_0 = 365 \cdot K_{\phi} \cdot i$, k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації водоносних порід, м/доба, i – гідравлічний уклон, безрозмірна величина;

$T = t_e + 5$ – розрахунковий час (кількість років), на кінець якого концентрація токсичної ЗР у ГВ не повинна перевищувати значення C_{max} ; t_e – час експлуатації накопичувача (звичайно 15 – 20 років, 5 – середня кількість років інфільтрації СВ після припинення скиду рідких промислових відходів у накопичувач).

Якщо ЗР стороння для природного гідрогеохімічного фону ($C_o = 0$ або вміст її у природних умовах дуже малий), то формула (1.59) має вид:

$$C_Z = \frac{\{C_{max}[(K_m \cdot m \cdot L^2 \cdot n + 0,2W) - K_m \cdot L \cdot m(L \cdot n - X_0)(1 - \frac{1}{T})]\}}{0,2W}. \quad (1.61)$$

Необхідна інформація міститься у проекті будівництва накопичувача (W, L, t_e), у звітах гідрогеологічних досліджень (m, n, K_ϕ, i, C_o). Значення C_{max} за величиною ГДК задається в межах 1 – 10 ГДК, звичайно 10 ГДК.

Основною метою оцінки граничного вмісту токсичних ЗР є:

- дозвіл прийняття превентивних заходів щодо охорони ПВ, враховуючи умови розташування промислових об'єктів;
- вдосконалення способів вилучення ЗР, відхилення екологічно небезпечних проектів.

Для визначення абсолютно допустимої маси токсичної ЗР у накопичувачі проводиться розрахунок за формулою:

$$G = C_2 \cdot W / 1000, \quad (1.62)$$

де G – маса токсичної ЗР у накопичувачі, кг;

C_2 – граничний вміст токсичної ЗР у промислових рідких відходах у накопичувачі, мг/дм³;

W – об'єм накопичувача, м³.

Принципи якісної і кількісної оцінки захищеності ПВ від техногенного забруднення представлені в підручнику «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» [40].

Ще один підхід для оцінки захищеності підземних вод запропонований у роботі [41]. Так, з метою оцінки будують карти захищеності ГВ до забруднення. Для цього необхідна карта захисної зони, яка отримується шляхом накладення ґрунтової карти, що відображає будову першого рівня захисної зони, і карт, що характеризують будову другого рівня захисної зони (глибин залягання і літологічної будови зони аерації). На карті виділяються типові ділянки, які характеризуються певною будовою першого і другого рівнів захисної зони, і глибиною залягання ґрунтових вод. Карта захисної зони є базовою для побудови карт захищеності та уразливості ГВ до будь-яких ЗР.

Захищеність ГВ від будь-якої ЗР залежить від часу досягнення фронтом забруднених інфільтраційних вод водоносного горизонту (t_3) з кожної виділеної на карті захисної зони типової ділянки:

$$t_3 = \frac{M\theta n}{v} + \frac{M\theta\delta K_p}{W}, \quad (1.63)$$

де K_p – коефіцієнт розподілу, $\text{дм}^3/\text{кг}$;
 δ – об'ємна маса скелета ґрунту, $\text{кг}/\text{дм}^3$;
 θn – повна вологоємність, в частках одиниці;
 v – швидкість просочування інфільтраційного потоку, м/доба [41].

При цьому:

$$v = \frac{1}{\theta} \sqrt[3]{W^2 \cdot k_f}, \quad (1.64)$$

де θ – природна вологість порід, в частках одиниці;
 W – інфільтраційне живлення, м/доба;
 k_f – коефіцієнт фільтрації, м/доба.

Перший доданок у формулі (1.62) характеризує рух води у ненасиченій зоні (або рух нейтральної ЗР), другий – фізико-хімічну взаємодію в системі «порода-вода» (або затримку ЗР породою). За даною формулою можна розраховувати час міграції різних ЗР, змінюючи тільки K_p індивідуальних ЗР при змінних кліматичних умовах. Зміна кліматичних умов може бути врахована у формулі (1.62) через варіації значень середньорічного інфільтраційного живлення (W).

Прямі показники техногенного забруднення ПВ звичайно базуються на ГДК. Критерії оцінки ступеня забруднення ПВ у зоні впливу господарських об'єктів приведені в табл. 1.35 [42].

Всі перераховані показники можна визначати як для вмісту в окремій пробі, так і для ділянки території (район, функціональна зона, природна ландшафтна одиниця, антропогенний ареал). В останньому випадку дослідження проводиться за геохімічним вибором; для кожної вибірки розраховується середнє значення концентрації хімічного елемента (ХЕ), стандартне відхилення і коефіцієнт варіації. Після розрахунків коефіцієнта концентрації (K_c) і коефіцієнта відносного збільшення загального навантаження (K_i) кожна вибірка представляється у вигляді набору відносних характеристик аномальності ХЕ.

Для визначення ступеня забруднення річкових донних відкладів ВМ можна використовувати «ігео-класи» (табл. 1.36) [43].

$$I_{geo_n} = \log_2(C_n / 1,5 B_n), \quad (1.65)$$

Таблиця 1.35 – Критерії оцінки ступеня забруднення підземних вод у зоні впливу господарських об'єктів

Обумовлені параметри	Критерії оцінки		
	зона екологічного лиха	надзвичайна екологічна ситуація	відносно задовільна ситуація
<i>Основні показники:</i> Вміст ЗР (нітрати, феноли, важкі метали, СПАР, НП), од. ГДК	> 100	10 – 100	3 – 5
Хлорорганічні сполуки, од. ГДК	> 3	1 – 3	< 1
Бенз(а)пірен, од. ГДК	> 3	1 – 3	< 1
Площа області забруднення, км ²	> 8	3 – 5	< 0,5
Мінералізація, г/дм ³	> 100	10 – 100	< 3
<i>Додаткові показники:</i> Розчинений кисень, мг/дм ³	< 1	1-4	> 4

де C_n – виміряна концентрація ХЕ n у донних відкладах (фракція менше 0,020 мм); n визначається за [44] або за даними спеціальних регіональних досліджень, множення на 1,5 виконується для урахування природних флуктуацій.

B_n – геохімічна фоновіа концентрація ХЕ.

За значеннями I_{geo_n} можна характеризувати рівень забруднення донних відкладів і техногенне навантаження на водні ЕС (табл. 1.36 – 1.37) [42].

Таблиця 1.36 – Значення концентрацій основних ВМ по *ігео-класам*

Елемент	Фон	<i>Ігео-класи (класи геоаккумуляції)</i>						
		0	1	2	3	4	5	6
<i>Fe</i>	4,72	7,08	14,16	28,32	56,64	> 56,64	-	-
<i>Mn</i>	850	1275	2550	5100	10200	20400	40800	> 81600
<i>Cd</i>	0,3	0,45	0,9	1,8	3,6	7,2	14,4	> 28,8
<i>Zn</i>	95	142,5	285	570	1140	2280	4560	> 9120
<i>Pb</i>	20	30	60	120	240	480	960	> 1920
<i>Cu</i>	45	67,5	135	270	540	1080	2160	> 4320
<i>Ni</i>	68	102	204	408	816	1632	3264	> 6528
<i>Co</i>	19	28,5	57	114	228	456	912	> 1824
<i>Cr</i>	90	135	270	540	1080	2160	4320	> 8640
<i>As</i>	13	19,5	39	78	156	312	624	> 624
<i>Hg</i>	0,4	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	> 38,5

Примітка: концентрації хімічних елементів в мг/кг, *Fe* – у %.

Оцінку забрудненості ґрунтів рекомендується проводити за токсикологічними показниками, або шляхом порівняння хімічних і санітарно-гігієнічних показників з регіональними фоновими значеннями. Оскільки не розроблені ГДК для ЗР донних відкладів, то визначені

Таблиця 1.37 – Характеристика рівня забрудненості донних відкладів по *ігео-класам* техногенного навантаження на водні ЕС

<i>Ігео-клас</i>	Рівень забруднення ВМ (за Г. Мюллером)	Техногенне навантаження на водні екосистеми	Екологічні зони; класи екологічного стану
0 1	незабруднений від незабрудненого до задовільно забрудненого	слабке (мало небезпечне)	зона норми; клас задовільного стану
2 3	задовільно забруднений середньо забруднений	задовільне (задовільно небезпечне)	зона ризику; клас несприятливого стану
4 5	сильно забруднений від сильно забрудненого до надзвичайно забрудненого	сильне (небезпечне)	зона кризи; клас дуже несприятливого стану
6	надзвичайно забруднений	надзвичайне (надзвичайно небезпечне)	зона лиха; клас катастрофічного стану

концентрації окремих ЗР (ВМ, НП та ін.) іноді порівнюють зі значеннями *ГДК* для родючих ґрунтів. Такий підхід є некоректним тому, що донні відклади – це субаквальні утворення, а родючі ґрунти – субаеральні утворення. Класифікація ґрунтів днопоглиблення за ступенем їх забрудненості була введена у вітчизняній практиці уперше, і її концептуальна відмінність від існуючих зарубіжних аналогів полягає в домінуванні екологічних принципів оцінки впливу дампінга на водне середовище над економічними міркуваннями (табл. 1.38) [45].

1.3.2 Методи оцінки техногенного навантаження

Для оцінки стану техногенного навантаження на ґрунти і ГС можна застосовувати окремі показники, а також певні критерії оцінки.

Якщо розглядати окремі показники, то одним з них є метод оцінки аграрного навантаження на ландшафти, яке визначається розораністю земель, меліорацією, рівнем механізації землеробства і кількістю внесених отрутохімікатів. Показник навантаження A_i розраховується за формулою:

$$A_i = \frac{S_a + 1,5S_m}{S_i} \cdot \frac{M_i}{M} \cdot \frac{F_i}{F}, \quad (1.66)$$

де S_a – площа богарних сільськогосподарських земель в i -му районі;

S_m – площа меліорованих земель;

S_i – площа району;

M_i і M – відповідно кількість самохідних сільськогосподарських агрегатів на 1 га орних земель для i -го району і в середньому по Україні;

Таблиця 1.38 – Класифікація ґрунтів днопоглиблення Азово-Чорноморського басейну за ступенем їх забрудненості

Інгредієнти (мг/кг) і параметри	Класи				
	А	І	ІІ	ІІІ	ІV
Кадмій (<i>Cd</i>)	≤ 1,0	> 1,0	> 2,0	> 3,0	> 5,0
Ртуть (<i>Hg</i>)	≤ 0,1	> 0,1	> 0,2	> 0,3	> 0,5
Свинець (<i>Pb</i>)	≤ 10	> 10	> 20	> 100	> 200
Цинк (<i>Zn</i>)	≤ 60	> 60	> 80	> 150	> 400
Мідь (<i>Cu</i>)	≤ 30	> 30	> 50	> 100	> 250
Миш'як (<i>As</i>)	≤ 5,0	> 5,0	> 6,0	> 8,0	> 10
Загальний фосфор	≤ 670	> 670	> 800	> 1000	> 1200
Загальний фтор	≤ 200	> 200	> 400	> 500	> 600
Цианіди	не знайдені				
НП	≤ 100	> 100	> 200	> 300	> 1000
Феноли	≤ 1,0	> 1,0	> 1,5	> 2,0	> 3,0
Coli-index	відсутня	4·10 ² – 8·10	10 ⁴ – 1,2·10 ⁵	2·10 ⁵ – 3·10 ⁶	> 10 ⁶
Мікробне число (загальна кількість бактерій)	відсутня	10 ² – 9,5·10 ⁴	1,8·10 ⁴ – 4·10 ⁵	10 ⁵ – 9·10 ⁶	> 2,9·10 ⁶
Санітарно-токсичний показник (дегенерація культури клітин)	відсутня	++ помірна	+++ виражена	тотальна	
Інтегральний коефіцієнт забрудненості по відношенню до еталону	еталон	≤ 15,0	≤ 30	≤ 60	> 60

Примітка: клас А – природно-чистий ґрунт (еталон); клас І – умовно чистий ґрунт, який не є небезпечним для морського середовища; клас ІІ – помірно забруднений і забруднений ґрунт; дампінг можливий після компенсації збитку морському середовищу і рибному господарству; бажана утилізація, раціональне використання ґрунтів днопоглиблення (берегові відвали, будівельні матеріали); клас ІІІ – сильно забруднений ґрунт; скидання в морське середовище можливе лише за отриманням спеціальної технології; подавання на берег небажане; бажана утилізація; клас ІV – токсичний ґрунт; можливе тільки поховання за спеціальною технологією, подавання на берег можливе лише після попереднього знешкодження і збагачення ґрунтів.

F_i і F – відповідно маса гербіцидів на 1 га (середня за 5 років) для i -го району і в середньому по Україні [1].

Також одним з підходів оцінки техногенного навантаження на ландшафти є оцінка за показниками сумарного випадіння пилу і мінеральних речовин у складі атмосферних опадів [46]. Серед домішок, які випадають на поверхню суші, значну питому вагу займають аерозолі. Частки розміром від 0,1 до 10 мкм осідають на поверхню ландшафтів з постійною швидкістю, а більше 10 мкм – зі зростаючою швидкістю. З атмосферними опадами випадає значна частина аерозолів, що призводить

до самоочищення атмосфери [46].

Для розрахунку сумарного випадіння пилу і мінеральних речовин необхідно скласти такі самостійні карти:

- сумарна карта випадіння пилу за рік у точках відбору;
- сумарна карта випадіння мінеральних речовин за рік, що випали з атмосферними опадами.

Потім необхідно скласти підсумкову карту (пил + мінеральні речовини). Розрахунок мінеральних речовин в атмосферних опадах (мг/км^2) проводиться за формулою:

$$M = a \cdot b \cdot 10^6, \quad (1.67)$$

де a – річна кількість опадів, мм;

b – сухий залишок (сума іонів) в опадах, мг/дм^3 ;

10^6 – коефіцієнт для переведення сухого залишку в мг/км^2 [46].

Ще одним підходом є оцінка антропогенної трансформації (перетворення) ландшафтів, що розглянута у роботі [47]. З цією метою можна використовувати методіку, розроблену П.Г. Шищенко для оцінки перетворення ландшафтів України [48]. Згідно з цією методикою, кожному із врахованих у всіх ландшафтних регіонах виду природокористування присвоюється ранг антропогенного перетворення (r) – від 1 до 10. Наприклад, відповідно до збільшення ступеня перетворення поліських ландшафтів, які використовуються у будь-яких видах природокористування, їм присвоєні такі ранги: ліси – 2, болота – 3, луки – 4, рілля – 6, водні об'єкти (природні, водосховища, канали) – 7, забудова (міська і сільська) – 8 [47].

Для врахування глибини антропогенного перетворення ландшафту і, відповідно, визначення «Ваги» кожного з видів природокористування в сумарному перетворенні використовується індекс глибини перетворення (G), який визначається експертним шляхом. З урахуванням оцінок ролі кожного виду природокористування в антропогенізації ландшафтів ступінь їх перетворення визначається так:

$$K_{ан} = \sum_{i=1}^n (r_i \cdot p_i \cdot g) / 100, \quad (1.68)$$

де $K_{ан}$ – коефіцієнт антропогенного перетворення;

r – ранг антропогенного перетворення ландшафтів i -им видом використання;

p – площа, зайнята ландшафтами даного виду використання, %;

g – індекс глибини перетворення ландшафту;

n – кількість виділів у межах ландшафтного регіону [47].

Ділення на 100 використовується для приведення отриманих значень коефіцієнта $K_{ан}$ у розмірність від 1 до 10. Отримані результати

змінюються в межах $0 < K_{ан} < 10$ і характеризують таку закономірність: чим більше площа виду природокористування і вище індекс глибини перетворення їм ландшафтів, тим у більшій мірі ландшафтний регіон перетворений господарською діяльністю [48].

Головною перевагою даної методики є можливість розрахувати в умовних одиницях рівні антропогенного перетворення регіонів за офіційними статистичними даними про структуру землекористування. Хоча така оцінка дає лише загальне уявлення про рівні трансформації ландшафтів внаслідок господарської діяльності [47].

Якщо розглядати підходи до оцінки техногенного навантаження на ГС, то заслуговує уваги робота [49], в якій розглянуто методику оцінки техногенного навантаження на ГС від об'єктів комунально-житлового господарства.

Відповідно до *положення щодо поверхні землі* джерела техногенного впливу поділяються на підземні, наземні і надземні. Так, будинки, тимчасові споруди, шляхи сполучення – це наземні джерела; колектор – підземні; асфальтові покриття, склади – надземні [49].

За *спрямованістю техногенного впливу* джерела підрозділяються на лінійні, площинні і об'ємні або мають змішану спрямованість – лінійно-точкові, об'ємно-площинні і т.д. Всі будівлі і тимчасові споруди мають об'ємно-площинну спрямованість, а елементи інженерного сполучення – лінійну. Асфальтове покриття має площинну спрямованість [49].

За *типом техногенного впливу* джерела поділяються на постійно діючі та періодично діючі. До постійно діючих належать будівлі, тимчасові споруди, асфальтові покриття, звалища, комунікації; до періодично діючих – шляхи сполучення [49].

Для виявлення закономірностей просторового поширення і характеру мінливості техногенних впливів на певній території, а також для оцінки ступеня різноспрямованості техногенного впливу використовуються такі показники як коефіцієнти розподілу площинного $K_{рпн}$ і лінійного $K_{рлн}$ техногенного навантаження (табл. 1.39) [49].

Таблиця 1.39 – Кількісні показники джерел техногенного впливу [49]

Кількісний показник джерел техногенного впливу	Формула	Діапазон зміни показників	Назва діапазону техногенного навантаження
Коефіцієнт розподілу площинного техногенного навантаження	$K_{рпн} = S_{тн} / S_{кв}$	$0 \leq K_{рпн} \leq 0,2$ $0,2 < K_{рпн} \leq 0,8$ $0,8 < K_{рпн} \leq 1,0$	відсутня середня висока
Коефіцієнт розподілу лінійного техногенного навантаження	$K_{рлн} = L_{тн} / S_{кв}$	$K_{рлн} = 0$ $0 < K_{рлн} \leq 0,01$ $0,01 < K_{рлн} \leq 0,03$ $0,03 < K_{рлн} \leq 0,05$ $K_{рлн} > 0,05$	відсутня дуже слабка слабка середня висока

При розрахунках коефіцієнтів площинного і лінійного техногенного навантаження в якості одиниці площі використовується квадрат координатної сітки плану забудови масштабу 1:1000. У формулах у табл. 1.39 $S_{тн}$ – площа квадрата, зайнята техногенними об'єктами; $L_{тн}$ – протяжність транспортної лінії; $S_{кв}$ – площа квадрата [49].

Згідно типізації джерел техногенного впливу коефіцієнти площинного і лінійного техногенного навантаження є кількісними характеристиками просторового поширення і ступеня різноспрямованості ($K_{рпн}$ – «вниз», $K_{рлн}$ – «вздовж») техногенного впливу об'єктів об'ємно-площинної (будівлі, споруди) і лінійної (інженерні комунікації, дороги) спрямованості. Для оцінки спільного впливу на ГС різних за типом джерел техногенного впливу в якості узагальнюючого критерію запропоновано коефіцієнт сумарного впливу $K_{стн}$, який є середньозваженим значенням кількісних показників джерел техногенного впливу на ГС:

$$K_{стн} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1.69)$$

де K_i – коефіцієнт техногенного навантаження (лінійного, площинного, об'ємного і т.д.);

P_i – вага (ступінь впливу або значимість) i -го коефіцієнта;

n – число чинників, що враховуються [49].

Величини P_i можна розглядати як масштабні множники. Для уніфікації підходів при встановленні розмірності того чи іншого коефіцієнта техногенного навантаження слід враховувати єдину для всіх величин K_i розмірність. Наприклад, якщо $K_{рпн}$ за суттю – частина одиничного квадрата, зайнятого забудовою, а $K_{рлн}$ – протяжність комунікацій, яка припадає на одиницю площі, то коефіцієнт $K_{стн}$ повинен мати розмірність, єдину і для площинних, і для лінійних об'єктів. Таким чином, вже при типізації джерел техногенного впливу слід встановлювати кількісні характеристики, що дозволяють оцінювати різні види впливу в однакових одиницях. Оскільки мова йде про вплив тих чи інших об'єктів міської інфраструктури на ГС, то логічно було б розглядати їх як «вбудовані» в це середовище. Тоді ступінь техногенного навантаження буде ступенем «вбудови» об'єкта в середовище. Так, для площинних і об'ємно-площинних об'єктів важливо врахувати величину навантаження на основу фундаменту, глибину розподілу навантаження під підставою будівлі або споруди, тип фундаменту і т.д. Для лінійних підземних об'єктів важливо знати і враховувати не тільки їх протяжність, а й глибину закладення, розміри прохідних каналів, діаметр і матеріали труб комунікацій і т.д. [49]

Також для оцінки техногенного навантаження на ГС використовуються *прямі та індикаторні критерії*, які за характером

оцінки поділяються на *ресурсну, геодинамічну, геохімічну і геофізичну групи*.

Прямі критерії оцінки, як вже зазначалось, регламентуються нормативно-директивними документами і співвідносяться стосовно ГДК або до фону та кларкового значення.

Індикаторні критерії містять у собі:

1) у *ресурсній групі* – залишкові запаси з урахуванням досягнутого рівня споживання (кількість років);

2) у *геодинамічній групі* – площинні, об'ємні і динамічні, а також медико-санітарні, ботанічні і зоологічні;

3) у *геохімічній групі* – показники оцінки ступеню забруднення літосфери;

4) у *геофізичній групі* – критерії оцінки радіаційного забруднення і т.д. [42].

Ресурсна група критеріїв дозволяє встановити рівень виснаження екологічно значимих мінеральних, органо-мінеральних, органічних і водних ресурсів ГС або тимчасову забезпеченість ними людського суспільства. Пропонується виділяти і картографувати територіальні типологічні одиниці за придатністю еколого-геологічних умов території за такими принципами:

1) для розселення біоти (зони неможливого проживання або короткочасного перебування);

2) різні види господарської діяльності (зони короткочасного перебування або обмеженого проживання);

3) будівництво різного роду інженерних споруд (зони проживання з ускладненими кліматичними або екологічними умовами);

4) сприятливі умови для проживання людей (зони, сприятливі для розселення людей) [42].

Геодинамічна група критеріїв використовується для оцінки стану геолого-геоморфологічного середовища, а також розвитку природних і техногенних процесів. Серед них виділяють *площинні* (% порушеної площі), *енергетичні* (швидкості й об'єми порід, що зміщуються) і *динамічні* (темпи зростання негативних порушень). Критерії виділення класів еколого-геологічних умов наведені в табл. 1.40 [38].

В залежності від зміни ґрунтового покриву геологічними процесами також можна виділити екологічні зони і відповідні їм класи еколого-геологічних умов (табл. 1.41) [26].

Біологічні показники (щільність рослинного покриву, зміна біологічної різноманітності, поява вторинних видів рослинності і т.д.) дозволяють оцінювати зміни біоти під впливом геологічних процесів, а також характер і інтенсивність цих процесів. Наприклад, зменшення площі рослинного покриву може спричинити активізацію водної і вітрової ерозії та дефляції, збільшення запиленості повітряного басейну, зменшення

Таблиця 1.40 – Критерії виділення класів еколого-геологічних умов

Критерії оцінки	Роз- мір- ність	Класи стану еколого-геологічних умов (екологічні зони)			
		<i>З (Н)</i>	<i>УЗ (Р)</i>	<i>НЗ (К)</i>	<i>К (Л)</i>
Площа техногенного рельєфу від загальної площі	%	< 5	5 – 25	25 – 50	> 50
Інтенсивність розвитку геологічних процесів	градації не розроблені				
Складність інженерно-геологічних умов	–	нескладні, локальні міри захисту від небезпечних геологічних процесів	складні, інженерна захищеність необхідна на окремих ділянках	дуже складні, інженерна захищеність необхідна на всіх ділянках	систематичні проявлення катастрофічних процесів, міри інженерного захисту не гарантують безпеку проживання населення
Збільшення площі порушення на рік	%	< 1	1 – 2	2 – 5	> 5
Площа техногенного рельєфу до площі ділянки	%	< 10	10 – 25	25 – 50	> 50
Розмах порушеного рельєфу	м	< 5	10 – 20	20 – 50	–
Площі порушених територій	%	< 10	10 – 25	25 – 50	–

Таблиця 1.41 – Оцінка стану ґрунтового покриву в залежності від їх змін природно-техногенними геологічними процесами

Показники	Класи (зони) екологічного стану			
	<i>З (Н)</i>	<i>УЗ (Р)</i>	<i>НЗ (К)</i>	<i>К (Л)</i>
Вміст гумусу, % від початкового	> 90	90 – 70	70 – 30	< 30
Площа вторинно засолених ґрунтів, %	< 5	5 – 20	20 – 50	> 50
Глибина змитості ґрунтових горизонтів	немає	змиті горизонт А ₁ або 0,5 горизонту А	змиті горизонт А і В і частина АВ	змиті горизонти А і В
Глибина змитості ґрунтових горизонтів, % ґрунтового профілю	< 10	10 – 30	30 – 50	> 50
Площа підґрунтових порід, % загальної площі	< 5	5 – 10	10 – 25	> 25
Площа повітряної ерозії, %	< 5	10 – 20	20 – 40	> 40

площі пасовищ, зниження продуктивності худоби, погіршення умов життєдіяльності людини тощо.

Крім того, розроблено критерії, засновані на обчисленні людських жертв, обумовлених зазначеним геологічним процесом (табл. 1.42) [26]. *Екологічним лихом (Л)* вважаються такі прояви геологічних процесів, коли відбувається втрата сталості екосистем, їх необоротні зміни, а число жертв досягає 1000 чоловік (загалом $n \cdot 10^2$).

Таблиця 1.42 – Біологічні й економічні критерії оцінки стану ЕС під впливом геологічних процесів

Критерії оцінки (параметри оцінки)	Стан екосистем під впливом природно-техногенних факторів			
	<i>Н</i>	<i>Р</i>	<i>К</i>	<i>Л</i>
Біологічні (кількість людських жертв), % від початкового	відсутні	до 30 ($n \cdot 10$)	31 – 1000 ($n \cdot 10^2$)	> 1000 ($n \cdot 10^3$)
Економічні (матеріальний збиток у мінімальних розмірах оплати праці)	< 1000	1000 – 0,5 млн.	0,5 – 5 млн.	> 5 млн.

Ботанічні критерії використовуються частіше через те, що вони найбільш чутливі до техногенних порушень довкілля, а також через можливість за допомогою рослин відчувати зміни екологічного стану в просторі й часі. Як приклад, ботанічні показники за В.Б. Виноградовим та ін. [26] наведені у табл. 1.43.

Зоологічні критерії можуть розглядатися на рівні угруповань або популяцій. Через сильну мінливість цих показників зазвичай вони розглядаються за 5 – 10-річний період спостережень (табл. 1.44) [26].

Використання критеріїв у сукупності дозволяє присовувати комплексні біологічні показники для виділення зон екологічного стану (*Н, Р, К, Л*) і відповідних їм класам еколого-геологічних умов (*З, УЗ, НЗ, К*) [26].

Деякі дослідники серед критеріїв оцінки сучасного стану ЕС розрізняють *тематичні, просторові і динамічні*.

Тематичні критерії містять у собі специфічні індикатори, що характеризують властивості і стан ЕС: ботанічні, біохімічні, зоологічні, ґрунтові. Ґрунтові критерії відображають погіршення властивостей ґрунтів і є одним з найбільш важливих факторів формування зон (класів) *Н, Р, К* та *Л*. Найбільший інтерес представляють ґрунтово-ерозійні критерії, які прямо пов'язані як із природними геологічними процесами, так і з антропогенними факторами і які прискорюють процес деградації ґрунтового покриву. Деякі ґрунтові показники наведені вище в табл. 1.41.

Просторові критерії відображають площі порушених ЕС. При однаковому ступені негативного впливу мала площа системи відновлюється швидше. За розмірами зони порушення екологічної

Таблиця 1.43 – Ботанічні показники екологічного стану

Показники	Зони екологічного стану			
	<i>Н</i>	<i>Р</i>	<i>К</i>	<i>Л</i>
Погіршення видового складу природної рослинності	природні зміни домінантів, субдомінантів і характерних видів	зменшення кількості домінуючих видів	зміна домінуючих видів на вторинні (бур'яни і отруйні)	збільшення вторинних видів, корисних рослин немає
Зміна ареалів	відсутні	ослаблені	скорочені	зникання
Порушення рослинності	відсутні	порушення найбільш чутливих видів	порушення середньо-чутливих видів	порушення слабо-чутливих видів
Зменшення індексу різноманітності Сімпсона, %	< 10	10 – 20	25 – 50	> 50
Лісистість, % від зональної	> 80	70 – 60	50 – 30	< 10
Порушення деревостоїв, %	< 5	10 – 30	30 – 50	> 50
Порушення хвої, % біомаси	< 5	10 – 30	30 – 50	> 50
Гибель посівів, % площі	< 5	5 – 15	15 – 30	> 30
Проективне покриття степною і напівпустельною рослинністю, % від норми	> 80	70 – 60	50 – 30	< 10

Таблиця 1.44 – Окремі зоологічні показники екологічного стану

Показники	Класи (зони) екологічного стану			
	<i>Н</i>	<i>Р</i>	<i>К</i>	<i>Л</i>
Біологічне різноманіття, % від початкового	< 5	10 – 20	25 – 50	> 50
Щільність популяції – індикатор антропогенного навантаження, % від початкового	< 5	10 – 20	25-50	> 50
Падіж домашніх тварин, %	< 10 випадково	10 – 20 спорадично	25 – 50 регулярно	> 50 масово

рівноваги умовно підрозділяються на *регіональні* (10000 км²), *обласні* (1000 км²), *районні* (100 км²), *локальні* (10 км²) та *ендемичні* (1 км²). Якщо навіть сильно порушені екосистеми займають площу менше 5 % території, то зміна розглядається в межах норми (*Н*). Помірні порушення на площі більше 50 % при помірному впливі є показником *ризик* (*Р*), при середньому – *кризи* (*К*), при сильному – *лиха* (*Л*).

В такому разі оцінку забруднення території можна проводити за формулою:

$$S_3 = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \left(\frac{Z_i}{S_{3az}} \right), \quad (1.70)$$

де S_3 – середній показник забруднення;

S_i – площа i -го контуру оцінюваної території;

Z_i – забруднення i -го контуру оцінюваної території;

$S_{заг}$ – загальна площа території.

Динамічні критерії відображають швидкість і інтенсивність порушення екологічних умов в екосистемах та їх частинах під впливом природних і антропогенних процесів. Наприклад, деякі біогеохімічні провінції існують задовго до активного прояву процесів техногенезу. Динамічні показники звичайно розглядаються за 5 – 8-річний період спостережень (табл. 1.45) [38].

Таблиця 1.45 – Окремі динамічні показники екологічних зон

Показники (5 – 8-річних спостережень)	Зони екологічного стану			
	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>L</i>
Збільшення площі деградованих екосистем, %	< 0,5	1 – 2	2 – 4	> 4
Збільшення площі еродованих земель, %	< 0,5	1 – 2	2 – 5	> 5

Геохімічна група критеріїв. При нормуванні екологічно небезпечних ЗР у довкіллі використовують такі основні підходи:

- *санітарно-гігієнічний* – заснований на величинах *ГДК* поллютантів;
- *геохімічний* – заснований на використанні кларків концентрацій, фонових величин, сумарних величин поллютантів та інших параметрів;
- *біогеохімічний* – який оцінює рослини як інтегральний показник вмісту токсичних поллютантів у ґрунтах [42].

Як відомо, згідно ГОСТ 17.4.1.02-83 за ступенем небезпеки хімічні речовини, що забруднюють ґрунтовий покрив, підрозділяються на 3 класи: 1 – високо небезпечні, 2 – помірно небезпечні, 3 – мало небезпечні (табл. 1.46).

Таблиця 1.46 – Критерії класів небезпеки хімічних речовин у ґрунтах

Показник	Норма для класів небезпеки		
	1 клас	2 клас	3 клас
Токсичність, ЛД ₅₀ , мг/кг	< 200	200 – 1000	> 1000
Персистентність в ґрунті, міс.	> 12	6 – 12	< 6
<i>ГДК</i> в ґрунті, мг/кг	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
Міграція	мігрують	слабо мігрують	не мігрують
Персистентність в рослинах, міс.	> 3	1 – 3	< 1
Вплив на харчову цінність сільськогосподарської продукції	сильний	помірний	немає

Геофізична група критеріїв. Критерії оцінки геофізичних полів розроблені вкрай слабо. Практично для всіх геофізичних полів можна

говорити про порогові значення прямих критеріїв оцінки (кВ/м, В/м і т.д.), виражених через гранично припустимі рівні (*ГПР*), що відображають гігієнічний норматив впливу електричних і електромагнітних полів на людський організм. Електромагнітне забруднення виникає внаслідок зміни електромагнітних властивостей середовища (поблизу ліній електропередач, радіо- і телевізійних антен, деяких промислових установок і т.д.), що призводить до геофізичних аномалій і змін у біосистемах. При тривалому впливі електромагнітних полів навіть у здорових людей відмічаються підвищена стомлюваність, головний біль, апатія і т.д. Негативний вплив електромагнітного поля виявляється при 1000 В/м. Найбільш чутливою є нервова система, порушення якої призводить до негативних змін інших систем організму. У зв'язку із зростанням кількості радіостанцій, працюючих в ультракоротких хвильових діапазонах, відзначається погіршення стану здоров'я людини. Небезпечним є вплив і електромагнітних випромінювань від мереж електропередач та інших джерел.

Виділяються такі значення напруженості електромагнітного поля (кВ/м) для населення: 0,5 – у житлових будинках; 1,0 – у межах житлової забудови, 10 – на перетинанні ЛЕП з автодорогами; 15 – у межах сільгоспугідь; 20 – у важкодоступній місцевості.

З урахуванням частотного діапазону радіохвиль *ГПР* електромагнітного поля для населених місць складають:

- довгі радіохвилі (частота 300 кГц, довжина 10 – 1 км) – 20 В/м;
- середні (частота 0,3 – 3,0 МГц, довжина 1,0 – 0,1 км) – 10 В/м;
- короткі (частота 3 – 30 МГц, довжина 100 – 10 м) – 4 В/м;
- ультракороткі (частота 30 – 300 МГц, довжина 10 – 1 м) – 2 В/м.

Для магнітних полів за даними зарубіжних джерел інформації *ГПР* не повинний перевищувати 50000 нТл, тобто напруженості геомагнітного поля Землі. Що стосується вібраційних полів, то їх вплив важко оцінювати, тому що резонансні частоти окремих частин людського організму (поля) відрізняються між собою на 1 – 20 Гц і, крім того, залежать від вібропереміщення (мм), частоти (Гц) і віброприскорення (м/с²). Несприятливий вплив на організм людини здійснює вібрація з частотами 1 – 30 Гц [50].

Оцінка дії іонізуючої радіації на живу речовину оцінюється поглиненою дозою (у греях – Гр) або ефективною дозою (у зивертах – Зв). Для оцінки активності компонентів літосфери часто використовуються внесистемні одиниці – кюрі (Ки), а для експозиційної дози – рентген (Р), поглиненої дози – рад, ефективною дози – бер. Наприклад, для забруднених територій Росії встановлене *ГПР* середньорічної ефективною еквівалентною дози опромінення у 1 мЗв (0,1 бер), якому відповідає щільність радіоактивного забруднення ґрунту і порід зони аерації ¹³⁷Cs в 1 Ки/км². Нижче цих значень умови проживання населення і трудова діяльність не

вимагає будь-яких обмежень. У межах територій, де щільність радіоактивного забруднення ^{137}Cs перевищує зазначений норматив, виділяються відповідні зони (табл. 1.47) [38].

Таблиця 1.47 – Співвідношення зон відселення та обмеження проживання з класами стану геологічного середовища

Зони	Оціночні критерії			Класи стану
	^{137}Sr	^{90}Sr	^{239}Sr	
Зони відчуження (заборонено постійне проживання)	$> 40 \text{ Ки/км}^2$	-	-	лиха (Л)
Зони виселення (населення підлягає виселенню)	$40 - 15 \text{ Ки/км}^2$ $> 5 \text{ мЗв (0,5 бер)}$	$> 1 \text{ Ки/км}^2$	$> 1 \text{ Ки/км}^2$	
Зони проживання с правом виселення (постійний медичний контроль, обов'язкові заходи)	$15 - 5 \text{ Ки/км}^2$ $> 1 \text{ мЗв (0,1 бер)}$	-	-	кризу (К)
Зони проживання с льотним соціально-економічним статусом	$5 - 1 \text{ Ки/км}^2$ $< 1 \text{ мЗв}$ $(< 0,1 \text{ бер})$	-	-	ризик (Р)
Зони нерегламентованого проживання	$< 1 \text{ Ки/км}^2$ $< 1 \text{ мЗв}$ $(< 0,1 \text{ бер})$	-	-	норми (Н)

Якщо розглядати окремі показники оцінки техногенного навантаження на ГС, то для кількісної оцінки стійкості пропонується використовувати коефіцієнт стійкості (K_c) ГС, значення якого змінюється від 0 до 1 [51]. У випадку, коли зниження еколого-геологічної якості системи супроводжується зменшенням будь-якого показника, величина коефіцієнту стійкості визначається за формулою:

$$K_c = N_t / N_o, \quad (1.71)$$

де N_t – показник будь-якої ознаки ґрунту або іншого компонента ГС, що зазнав техногенного впливу;

N_o – той же показник до впливу.

У випадку, коли зниження якості системи характеризується збільшенням будь-якого показника (наприклад, вмісту ЗР), K_c визначається за формулою:

$$K_c = N_o / N_t. \quad (1.72)$$

За величиною коефіцієнту стійкості виділяються такі категорії стійкості компонентів ГС до техногенного впливу:

- дуже висока ($K_c = 1,0 - 0,95$);
- висока ($K_c = 0,95 - 0,8$);

- середня ($K_c = 0,8 - 0,5$);
- низька ($K_c = 0,5 - 0,1$);
- нестійка ($K_c = 0,1 - 0$).

Таким чином, існуючі підходи до оцінки стану і техногенного навантаження на ґрунти і свідчать, що:

- оцінка еколого-геологічного стану території базується на використанні як прямих нормованих критеріїв оцінки її компонентів (*ГДК*, *ГПР* та ін.), так і непрямих показників (тематичних, площинних і динамічних) самого ГС і взаємопов'язаних з ним природних середовищ;

- забезпеченість оцінки стану літосфери прямими оціночними критеріями суттєво різниться як за складовими її компонентів (породи, ПВ, рельєф, ґрунти, донні відклади), так і за функціональним статусом цих компонентів (найбільш розроблені геохімічні і гідродинамічні критерії, а показники ресурсного значення літосфери й оцінки геофізичних полів розроблені лише на якісному рівні);

- існуюча нормативна база для прямих критеріїв оцінки (*ГДК*, *ГПР* та ін.) потребує суттєвого удосконалювання для надання об'єктивної оцінки про рівень біологічного дискомфорту тієї або іншої території.

Питання для самоперевірки

1. Які існують види техногенного впливу на довкілля?
2. Що таке техногенез?
3. У чому полягає суть методу порівняння?
4. У чому полягає суть методу інтегральної оцінки?
5. При яких значеннях *I*_{ЗА} якість повітряного басейну за вмістом окремої ЗР відповідає санітарно-гігієнічним вимогам України?
6. При яких значеннях *I*₅ атмосферне повітря вважається «чистим»?
7. За якою формулою розраховується показник забруднення повітряного басейну однією речовиною (*ПЗ*)?
8. За якою формулою розраховується показник *ГДЗ*?
9. Що таке *КНП* у розрахунку на одне підприємство міста?
10. Які існують групи індикаторів оцінки рівня техногенного навантаження на повітряний басейн?
11. У чому суть графічної моделі якості поверхневих вод?
12. За якими показниками визначається *ІЗВ*?
13. За якими показниками визначається модифікований *ІЗВ*?
14. У чому полягає суть методики оцінки якості поверхневих вод за гідрохімічними показниками?
15. Які блоки показників включає методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями?
16. Які блоки показників включає методика ОДЕКУ для врахування ефекту сумарної дії речовин?

17. Які показники включають хімічний індекс Баха (CI) та індекс якості води Американської санітарної служби ($NSF\ WQI$)?
18. Як визначається ефективність водоспоживання і водовідведення?
19. Як визначити рівень техногенного навантаження від об'єктів комунального господарства?
20. Які критерії виділення «зони екологічної норми»?
21. Які критерії виділення «зони екологічного ризику»?
22. Які критерії виділення «зони екологічної кризи»?
23. Які критерії виділення «зони екологічного лиха»?
24. Які основні групи показників (індикаторів) якості ґрунтів?
25. Які існують ступені градації забруднення ґрунтів нафтопродуктами?
26. Як визначається коефіцієнт концентрації (K_c)?
27. Як визначається коефіцієнт техногенного геохімічного навантаження (K_i)?
28. Як визначається сумарний показник забруднення ґрунтів (Z_c)?
29. Як визначається $KПЗ$?
30. Які основні категорії показників якості ґрунтів?
31. Які основні стадії техногенного забруднення підземних вод?
32. Як визначається показник схильності підземних вод до забруднення?
33. У чому полягає оцінка антропогенної трансформації (перетворення) ландшафтів?
34. У чому суть ресурсних критеріїв техногенного навантаження на геологічне середовище?
35. У чому суть геодинамічних критеріїв техногенного навантаження на геологічне середовище?
36. У чому суть геохімічних критеріїв техногенного навантаження на геологічне середовище?
37. У чому суть геофізичних критеріїв техногенного навантаження на геологічне середовище?

2 КОМПЛЕКСНІ ПОКАЗНИКИ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ

Систему показників оцінки техногенного навантаження умовно можна поділити на 2 основні групи:

- 1) показники, які використовуються для оцінки окремого виду навантаження або навантаження на певне природне середовище;
- 2) комплексні показники оцінки.

2.1 Методи оцінки окремих видів навантаження

Методи оцінки техногенного навантаження на окремі природні середовища детально описані у розділі 1. Звернемо увагу на показники окремого виду навантаження.

Так, транспортне навантаження для окремої території можна розраховувати за показником T_i :

$$T_i = \frac{1}{S_i} \sum l_k \cdot B_k, \quad (2.1)$$

де S_i – площа району;

l_k – довжина автодороги, що має k -ту оцінку показника транспортної напруженості B_k [1].

Ще одним показником, який характеризує техногенне навантаження автотранспорту на певній території, є коефіцієнт відносної протяжності автошляхів (d):

$$d = \frac{l}{S}, \quad (2.2)$$

де l – сумарна довжина автошляхів на певній території;

S – площа території [1].

Як непрямої показник рівня навантаження можна використовувати інтенсивність руху автотранспорту. Так, коефіцієнт d може визначатися для певної категорії автодоріг, які, наприклад, характеризуються максимальною інтенсивністю руху автомобільного транспорту. У даному випадку просторові зміни цього показника дозволяють визначити райони з максимальним техногенним навантаженням, що створюється автотранспортом [1].

Стан довкілля в районі або місті в тому числі залежить від стану ландшафту, тобто структури використання земель. Рівень і спрямованість антропогенного впливу, ступінь стійкості ландшафтів на різні види антропогенного навантаження можна оцінювати як характеристику еколого-господарського стану території [52].

Еколого-господарський баланс території – це збалансоване співвідношення різних видів діяльності та інтересів різних груп населення на території з урахуванням потенційних і реальних можливостей довкілля, що забезпечує сталий розвиток природи і суспільства [52].

З урахуванням даних земельного кадастру можна розрахувати коефіцієнт природної захищеності ($K_{пз}$), коефіцієнти абсолютної (K_a) і відносної (K_v) антропогенної напруженості. Основними вихідними даними для розрахунку є відомості про площі земель, зайнятих тим чи іншим видом діяльності. Пропонуємо систему даних про використання земель наведена в табл. 2.1 [52].

Таблиця 2.1 – Система даних про використання земель у j -му регіоні [52]

Вид використання земель	Площа даного виду використання
1. Землі забудови, в т.ч. промислових будівель і споруд	S_{j1}
2. Землі під дорогами	S_{j2}
3. Порухені та інші землі (полігони відходів, піски, яри та ін.)	S_{j3}
4. Землі під водою	S_{j4}
5. Сільськогосподарські угіддя	S_{j5}
6. Болота	S_{j6}
7. Землі під деревами та кущами, що не входять до лісового фонду	S_{j7}
8. Лісові землі	S_{j8}
Загальна площа j -го району	S_j

Коефіцієнти абсолютної та відносної напруженості еколого-господарського стану території дозволяють оцінити антропогенне перетворення території. Коефіцієнт абсолютної антропогенної напруженості визначається за формулою:

$$K_a = S_{j1} / S_{j8}. \quad (2.3)$$

Даний коефіцієнт показує відношення площі сильно порушених забудовою, промисловістю і транспортом земель до площі малопорушених або непорушених територій [52].

Коефіцієнт відносної антропогенної напруженості (K_v) – це відношення площі земель з високим антропогенним перетворенням до площі земель з більш низьким антропогенним перетворенням [52]:

$$K_6 = \frac{Sj_1 + Sj_2 + Sj_3}{Sj_4 + Sj_5 + Sj_6 + Sj_7 + Sj_8}. \quad (2.4)$$

В цілому, еколого-господарський стан території найбільшою мірою характеризується коефіцієнтом відносної напруженості, оскільки при цьому охоплюється вся територія, що розглядається. Коефіцієнт відносної напруженості можна використовувати в якості інтегрального показника, який визначається як співвідношення площі земель з низьким антропогенним навантаженням в районі до площі земель з високим навантаженням. Зниження напруженості ситуації зменшує значення коефіцієнтів, а при значеннях K_6 , що дорівнюють або близькі до 1,0, напруженість території є збалансованою за ступенем антропогенного перетворення і потенціалу стійкості природи [52].

Коефіцієнт природної захищеності визначається за формулою [52]:

$$K_{нз} = \frac{Sj_8 + 0,8Sj_7 + 0,6Sj_6 + 0,4Sj_5 + 0,2Sj_4}{Sj}. \quad (2.5)$$

Кожному антропогенному впливу або їх сукупності відповідає свій поріг стійкості природних і природно-антропогенних ландшафтів. Чим різноманітніше ландшафт, тим він більш стійкий. Виражається це, перш за все, через велику кількість і рівномірний розподіл природних біогеоценозів, природоохоронних зон і природних територій, що підлягають особливій охороні. Чим він більший, тим вище природна захищеність території і стійкість ландшафту. Разом з тим рівень природної захищеності залежить і від розподілу земель за ступенем антропогенного перетворення. Землі, які характеризуються високим ступенем антропогенного навантаження, мають низьку природну захищеність [52].

Також одним з підходів можна вважати оцінку за індикаторами техногенного навантаження на довкілля відходами, які поділяються на групи конструктивної і деструктивної дії (табл. 2.2) [13].

Розроблений також ергодемографічний індекс ($E_{ДІ}$), який відображає масштаб технічної енергетики і щільність населення, а також біотичний потенціал території:

$$J_{ED} = (7 \cdot 10^{-6} \cdot \rho \cdot \varepsilon) / (\rho_0 \cdot R_s \cdot S), \quad (2.6)$$

де ρ, ρ_0 – середня щільність населення території (регіону) і середня щільність населення країни відповідно, люд./км²;

ε – загальна витрата палива і паливних еквівалентів електроенергії на території, що розглядається, т ум. палив./рік;

R_s – сумарна сонячна радіація, т ум. палив./км²•рік;

S – площа території, км² [52].

Таблиця 2.2 – Показники стану довкілля за індикаторами поводження з відходами [13]

Індикатори техногенного навантаження промисловими токсичними відходами	Індикатори активності діяльності щодо зниження навантаження
<ol style="list-style-type: none"> 1. Обсяг утворених промислових токсичних відходів, тис. т. 2. Темп скорочення утворення відходів, %. 3. Обсяг наявності відходів (у сховищах організованого складування), тис. т. 4. Питомий обсяг наявності та утворення промислових відходів на одиницю площі регіону, т/км². 5. Питомий обсяг утворення промислових відходів на 1 грн. ВДВ, кг/грн. 6. Обсяг відправлення відходів у місця неорганізованого складування, тис. т. 7. Обсяги утворення відходів I класу небезпеки та їх питома вага у наявному обсязі відходів, %. 8. Структура відходів за класами небезпеки, %. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обсяг знищених відходів, тис. т. 2. Рівень знешкодження, %. 3. Обсяг використаних відходів, тис. т. 4. Рівень використання відходів, %. 5. Частка відходів, відправлених у місця неорганізованого складування у загальному обсязі утворених відходів, %. 6. Обсяги використання та знешкодження відходів I класу небезпеки.

З урахуванням вказаного показника *ЕДІ* та деяких інших параметрів можна розрахувати гранично допустиме техногенне навантаження (*ГДТН*) – це величина максимального порушення природного середовища території в результаті вилучення природних ресурсів і забруднення середовища, що не виходить за межі екологічної техноємності території. *ГДТН* співставляє природоємність виробництва і екологічну техноємність території. Розрахунок заснований на обмеженні техногенного навантаження граничною можливістю природного комплексу території зберігати цілісність екосистем і якість середовища шляхом перетворення сонячної енергії для процесів самоочищення і регенерації [52].

Значення *ГДТН* розраховується на основі застосування енергетичного підходу згідно з методикою Т.А. Акімової [53] за формулою:

$$E = p (72R + 132W + 0,6P) \cdot S - k_E \cdot N, \quad (2.7)$$

де *E* – гранично допустиме споживання палива і енергії (у паливних еквівалентах) на даній території на потреби виробництва і транспорту, т ум.палив./рік;

p – коефіцієнт, що враховує антропогенну насиченість території, що дорівнює $p = 1 + \lg J_{ED}$;

R – радіаційний баланс території (за матеріалами кліматичного опису), ккал/(см² • рік);

W – середній модуль поверхневого стоку, м³/(га • добу);

P – питома продукція сухої речовини біомаси, т/км² • рік, яка дорівнює $P = P_B / S$, де S – площа території, км²;

k_E – нормативний мінімум побутової витрати енергії на одну людину, т ум. палив./(люд. • рік);

N – загальна чисельність населення території, люд. [52].

Ще одним показником із застосуванням енергетичних критеріїв є коефіцієнт антропогенного тиску. Він розраховується, виходячи зі споживання енергії на одиницю даної території:

$$K_j^a = (P_j / S_j) / [\sum_{j=1}^n P_j / S_j] / n, \quad (2.8)$$

де P_j – споживання енергії в регіоні j , ПДж/рік;

S_j – площа регіону j , млн. га;

n – число регіонів [52].

Також цікавим є індекс стійкості ЕС (ICE), який відображає ступінь стійкості наземних екологічних систем до впливу антропогенних факторів. Енергетичний вираз індексу стійкості екосистем розраховується за формулою:

$$ICE = ЩБМ_E \cdot ПБП_E / R_n, \quad (2.9)$$

де $ЩБМ_E$ – енергетичний вираз щільності розміщення біомаси, Дж/м²;

$ПБП_E$ – енергетичний вираз питомої біопродуктивності, Дж/м²;

R_n – енергія поглиненої радіації, Дж/м [52].

Отже, розглянуті вище підходи і методи досить різноманітні і дозволяють з різних позицій виконати оцінку певного виду техногенного навантаження на територію (регіон).

2.2 Комплексні показники оцінки техногенного навантаження на довкілля

На даний час єдиного підходу до комплексної оцінки стану довкілля під впливом техногенного навантаження в Україні не існує. Розроблено і застосовуються для оцінок різноманітні методики, які дозволяють виконати оцінку на довкілля в цілому.

У роботі А.П. Белоусової та ін. (2019) [55] автори пропонують рейтингову систему оцінки, яка містить дві групи показників:

1) загальні обсяги надходження ЗР у навколишнє середовище (газоподібних, рідких і твердих);

2) характеристика окремих компонентів, яка включає якісний (компонентний) і кількісний склад (обсяги утворення кожного

компоненту).

Як зазначають самі автори, застосування другої групи показників представляє певні труднощі, оскільки детальна інформація щодо кожного конкретного джерела забруднення відсутня. В цілому підхід передбачає визначення рейтингу, який заснований на сумарному утворенні ЗР у складових довілля за галузями виробничої діяльності.

Середній умовний рейтинг (P) небезпеки впливу визначається за формулою:

$$P = (V_G + V_P + V_T) / 3, \quad (2.10)$$

де V_G, V_P, V_T – обсяги газоподібних, рідких і твердих ЗР [3].

Принципи класифікація небезпеки галузей виробництва наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Класифікація галузей виробництва за показниками умовного рейтингу [55]

Умовний рейтинг	Ступінь небезпеки галузі
< 5	Надзвичайно небезпечна
5 – 10	Дуже небезпечна
> 10	Небезпечна

Зазначимо, що згідно з таблицею визначається умовний рейтинг певної галузі виробництва. У даному випадку представлено методику можна використовувати для оцінки техногенного навантаження на довілля від кожного джерела забруднення (підприємства) окремо.

У разі оцінки навантаження на значну територію з урахуванням обсягів надходження ЗР у навколишнє середовище припускається розробка інших градацій для класифікації ступеня небезпеки галузей виробництва. Автори пропонують визначати рейтинг сумарної умовної небезпеки від різних видів джерел забруднення (точкові, площинні, лінійні тощо) з виділенням таких градацій умовної небезпеки: *слабка, середня, висока, дуже висока і надзвичайно висока*. Числові значення можуть визначатися для кожного регіону (території) окремо, виходячи із отриманих результатів оцінки [55].

Ще одним показником є комплексний показник техногенного впливу на навколишнє середовище певної території. Розраховується за формулою:

$$K_K = \left(\frac{M_B}{S_m} + \frac{V_3 - V_C}{S_m} + \frac{M_{ВДД}}{S_m} \right) \cdot P_{Ж}, \quad (2.11)$$

де M_B – маса викиду ЗР, т/рік;

S_m – площа території області, га;

V_3 – маса води, яка забирається на потреби споживачів, м³/рік;
 V_C – маса скидання стічних вод, м³/рік;
 $M_{ВІД}$ – маса відходів, що утворилися на даній території, т;
 $P_{Ж}$ – кількість жителів, які проживають на даній території, тис. чол.
 [52, 56].

Комплексний показник техногенного впливу змінюється у широкому діапазоні і дозволяє поділяти території дослідження на декілька екологічних районів за рівнем навантаження. Кожний екологічний район характеризується певним рівнем техногенного навантаження на компоненти довкілля і станом біоти. Як приклад запропоновано такі градації екологічних районів:

- 1) $K_k < 10 \cdot 10^{-2}$;
- 2) $K_k = (10 - 100) \cdot 10^{-2}$;
- 3) $K_k = (100 - 1000) \cdot 10^{-2}$;
- 4) $K_k > 1000 \cdot 10^{-2}$ [56].

Умови відновлення ЕС в регіоні можна визначити за значенням комплексного показника відновлення:

$$K_e = \left(\frac{m_{ул}}{m_e} + \frac{W_c}{W_3} + \frac{P_e}{P_n} + \frac{B_{ут}}{B_{роз}} + \frac{S_{зан}}{S_{заг}} + \frac{S_{відн}}{S_{заг}} \right) \cdot P_{чол} \quad (2.12)$$

де K_e – коефіцієнт, який характеризує умови відновлення екосистем;

$m_{ул}$ – маса уловлених ЗВ, тис. т;

m_e – маса викидів ЗР, тис. т;

W_c – об'єм скидів СВ, млн. м³;

W_3 – об'єм забору води з водних об'єктів, млн. м³;

P_e – площа відпрацьованих земель, тис. га;

P_n – площа порушених земель, тис. га;

$B_{ут}$ – утилізація відходів, тис. т;

$B_{роз}$ – розміщення відходів на території, тис. т;

$S_{зан}$ – площа територій природно-заповідного фонду, тис. га;

$S_{заг}$ – площа території області, тис. га;

$S_{відн}$ – площа лісовідновлення, тис. га;

$P_{чол}$ – чисельність населення, тис. чол [56].

Іншим підходом є визначення коефіцієнту небезпеки території (K_H), запропонований авторами роботи [57]. Він визначається через співвідношення техногенного навантаження (U) на територію і її екологічну техноємність (T):

$$K_H = U_i / T_i. \quad (2.13)$$

Коефіцієнт визначається для кожного природного середовища окремо.

Для атмосферного повітря, екологічна ємність визначається, виходячи з обсягу відтворення кисню, і розраховується за формулою:

$$E_l = P\phi \cdot F_l, \quad (2.14)$$

де F_l – швидкість кратного відновлення маси кисню, рік⁻¹;
 $P\phi$ – обсяг відтворення кисню, т/рік:

$$P\phi = \sum_{i=1}^n S_i^{\text{бгц}} \cdot Y_i, \quad (2.15)$$

де $S_i^{\text{бгц}}$ – площа i -го біогеоценозу на території, км²;

Y_i – щорічне виробництво кисню i -им рослинним угрупованням, т/км².

Для розрахунку екологічної ємності водного середовища і земної поверхні (головний компонент – біота) використовується така формула:

$$E_i = V_i \cdot C_i \cdot F_i, \quad (2.16)$$

де V_i – об'єм поверхневих водотоків або площа земної поверхні, км³ або км²;

C_i – вміст основних екологічно значущих субстанцій в певному середовищі, т/км² або т/км³;

F_i – швидкість кратного відновлення об'єму води або біомаси, рік⁻¹.

Оцінка екологічної техноємності території, виражена в одиницях масового техногенного навантаження, розраховується за формулою:

$$T_E = \sum_{i=1}^3 E_i \cdot X_i, \quad (2.17)$$

де T_E – екологічна техноємність території, ум. т/рік;

E_i – екологічна ємність i -го середовища, т/рік;

X_i – коефіцієнт варіації для природних коливань вмісту основної субстанції в середовищі, од.

Виходячи зі значень K_H , запропоновано шкалу визначення рівня екологічної небезпеки:

- при $K_H < 0,5$ рівень екологічної безпеки території нормальний;
- при $K_H = 0,5 - 1$ територія відноситься до категорії екологічного ризику;
- при $K_H = 1 - 5$ територія відноситься до категорії екологічної кризи;
- при $K_H > 5$ територія класифікується як зона екологічного лиха [57].

Ще одним підходом для оцінки техногенного навантаження на ландшафтні райони (території) є метод, застосований авторами роботи

[58]. Згідно даної методики показник техногенного навантаження розраховується за такою формулою:

$$TH = CEOT + ZHC \quad (2.18)$$

де TH – техногенне навантаження;

$CEOT$ – соціально-економічне освоєння території;

ZHC – забруднення навколишнього середовища.

Найбільш комплексно величину техногенного навантаження характеризують показники соціально-економічного освоєння території (густота населення, концентрація виробництва, господарське освоєння земель) і забруднення довкілля (радіаційне і хімічне забруднення атмосферного повітря, природних вод і ґрунтів) [58].

Для уніфікації розрахунків всі показники необхідно привести до нормалізованого виду, оскільки вони мають різну розмірність. Нормалізація проводиться за формулою:

$$Y_i = \frac{x_i - x_i^{min}}{x_i^{max} - x_i^{min}} \quad (2.19)$$

де X_i – ненормалізоване значення показника i ;

X_i^{min} – мінімальне значення показника i ;

X_i^{max} – максимальне значення показника i ;

Y_i – нормалізоване значення показника i [58].

Так, інтегральний показник техногенного навантаження обчислюється як сума таких нормалізованих показників: щільність населення, коефіцієнт територіальної концентрації виробництва, господарське освоєння земель і забруднення навколишнього середовища ландшафтних районів. Запропоновані відповідні рівні техногенного навантаження: *нижче середнього* (< 2,40), *середній* (2,41 – 4,70), *вище середнього* (4,71 – 7,20), *високий* (7,21 – 9,40) і *дуже високий* (> 9,41) [58].

Цікавим також є підхід, запропонований С.П. Іванютою [59]. Запропоновано визначати коефіцієнт техногенного навантаження на регіон з урахуванням наявності об'єктів критичної транспортної інфраструктури (ОКТИ). До об'єктів критичної інфраструктури відносяться підприємства та установи таких галузей, як енергетика, хімічна промисловість, транспорт, банки і фінанси, інформаційні технології та телекомунікації, продовольство, охорона здоров'я, комунальне господарство, які є стратегічно важливими для функціонування економіки і безпеки держави, суспільства та населення, виведення з ладу або руйнування яких може мати вплив на національну безпеку і оборону, довкілля, призвести до значних матеріальних і фінансових збитків, людських жертв.

До складу ОКТІ відносяться просторово розвинуті мережі залізничних колій, магістральних газопроводів, електромереж і автошляхів, значна частина яких є частиною міжнародних транспортних коридорів. Особливу загрозу серед ОКТІ становлять просторово розподілені залізничні колії, нафто- і газопроводи, мости, потенційно небезпечні об'єкти, магістральні електромережі [59].

Питома щільність ОКТІ визначається за формулою:

$$M_i = \frac{N_i}{S_i} \equiv \frac{L_i}{S_i}, \quad (2.20)$$

де N_i – кількість ОКТІ в заданому регіоні;

L_i – довжина відповідного ОКТІ на території певного регіону;

S_i – площа заданого регіону [59].

В якості показників M_i використовуються такі:

- M_1 – питома щільність залізниць, км/тис. км²;
- M_2 – питома щільність мостів, шт./тис. км²;
- M_3 – питома щільність потенційно небезпечних об'єктів, шт./тис. км²;
- M_4 – питома щільність магістральних електромереж, км /тис. км² [59].

Коефіцієнт техногенного навантаження регіонів України, який характеризує відносні рівні питомої щільності характеристик ОКТІ, визначається за формулою:

$$m_i = \frac{M_i - M_{min}}{M_{max} - M_{min}}, \quad (2.21)$$

де M_{min} та M_{max} – відповідно мінімальне і максимальне значення показників питомої щільності ОКТІ [59].

Виходячи з цього, комплексний показник рівня техногенного навантаження регіонів України Y визначається за формулою:

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{M_i - M_{min}}{M_{max} - M_{min}}. \quad (2.22)$$

Відповідно, чим менше значення Y , тим нижче рівень техногенного навантаження. С.П. Іванютою [59] запропоновано 6 вербальних градацій рівнів техногенного навантаження для України: *незначний, помірний, середній, підвищений, високий і критичний*. Числові значення градацій можуть варіюватися в залежності від отриманих результатів розрахунків.

Т.В. Радевич та ін. [60] запропонували комплексний показник для оцінки екологічної безпеки підприємств. Цей показник, на їх думку,

базується на таких інтегральних показниках:

- інтегральний коефіцієнт екологічної шкоди;
- інтегральний коефіцієнт впливу економічних факторів;
- інтегральний коефіцієнт впливу еколого-економічних факторів.

Інтегральний коефіцієнт екологічної шкоди $K_{ЕШ}$ – це показник, який відображає умовну середню екологічну шкоду довкіллю від господарської діяльності підприємства і розраховується за формулою:

$$K_{ЕШ} = \sqrt[n]{\frac{B_1}{ГДК_1} \cdot \frac{B_2}{ГДК_2} \cdot \dots \cdot \frac{B_n}{ГДК_n}}, \quad (2.23)$$

де B_1, B_2, \dots, B_n – фактичні обсяги викидів i -ої ЗР в атмосферне повітря та/або скидів у водні об'єкти, та/або розміщення відходів, та/або утворення радіоактивних відходів [60].

Чим нижче значення даного показника, тим вище рівень екологічної безпеки підприємства. Оскільки інтегральний коефіцієнт екологічної шкоди є показником-дестимулятором, то у формулу оцінки загального рівня екологічної безпеки підприємства він вноситься у зворотному значенні, тобто $(1 - K_{ЕШ})$ [60].

Інтегральний коефіцієнт впливу економічних факторів $K_{ЕКОН}$ використовується у зв'язку з необхідністю оцінки стану основних засобів і рівня капітальних інвестицій, оскільки вони значною мірою впливають на рівень екологічної безпеки підприємства. При цьому чим вище значення даного показника, тим вище загальний рівень екологічної безпеки підприємства. Розраховується даний показник за формулою:

$$K_{ЕКОН} = \sqrt[3]{K_{пр} \cdot K_{он} \cdot d_{капінв}}, \quad (2.24)$$

де $K_{пр}$ – коефіцієнт придатності основних засобів;

$K_{он}$ – коефіцієнт оновлення основних засобів;

$d_{капінв}$ – частка капітальних інвестицій в основні засоби природоохоронного призначення [60].

Складові $K_{ЕКОН}$ визначаються за формулами, наведеними у табл. 2.4.

Інтегральний коефіцієнт впливу еколого-економічних факторів $K_{ЕКОН-ЕКОН}$ визначається у зв'язку з необхідністю оцінки впливу екозбитковості, екоємності, питомої ваги екологічних витрат та частки утилізованих відходів в обсязі їх утворення на рівень екологічної безпеки підприємства. Його значення повинно перевищувати 1. Чим вище значення $K_{ЕКОН-ЕКОН}$, тим вище рівень екологічної безпеки підприємства. Розраховується показник за формулою:

$$K_{ЕКОН-ЕКОН} = \sqrt[4]{P_{екозб} \cdot EM \cdot d_{ековит} \cdot d_{відх}}, \quad (2.25)$$

де $P_{\text{екозб}}$ – екозбитковість виробництва;

EM – екомісткість виробництва;

$d_{\text{ековит}}$ – питома вага екологічних витрат у собівартості продукції;

$d_{\text{від}}$ – питома вага утилізованих відходів у загальному обсязі їх утворень [60].

Таблиця 2.4 – Методика розрахунку економічних показників, які характеризують стан основних засобів [60]

Показники	Методика розрахунку	Характеристика
Коефіцієнт придатності основних засобів	$K_{np} = 3B_{пер} / ПB_{пер}$, де $3B_{пер}$ – залишкова вартість основних засобів підприємства на певну дату; $ПB_{пер}$ – первісна вартість основних засобів підприємства на певну дату	Характеризує ступінь придатності основних засобів до експлуатації з урахуванням їх фізичного та морального зношення.
Коефіцієнт оновлення основних засобів	$K_{он} = ПB_{он} / ПB_{кін}$, де $ПB_{он}$ – первісна вартість уведених у дію нових основних засобів за звітний рік; $ПB_{кін}$ – первісна вартість основних засобів на кінець року.	Характеризує інтенсивність введення в експлуатацію нових основних засобів.
Частка капітальних інвестицій в основні засоби природоохоронного призначення	$d_{капінв} = K_{Екол} / K_{Заг}$, де $K_{Екол}$ – сума капітальних інвестицій в основні засоби природоохоронного призначення; $K_{Заг}$ – загальна сума капітальних інвестицій в основні засоби.	Відображає питому вагу капітальних інвестицій, здійснених в основні засоби природоохоронного призначення, в загальній сумі капітальних інвестицій за рік.

Показник екозбитковості виробництва $P_{\text{екозб}}$ характеризує суму екологічного податку, що припадає на 1 грн. виготовленої продукції. Його збільшення призводить до зменшення $K_{\text{ЕКОЛ-ЕКОН}}$. Розрахунок показника $P_{\text{екозб}}$ проводиться за формулою:

$$P_{\text{екозб}} = 1 - (EP / Q), \quad (2.26)$$

де EP – сума екологічного податку;

Q – обсяг виробленої продукції (товарів, робіт, послуг) [60].

Екомісткість продукції EM визначається відношенням суми екологічних витрат до вартості випущеної продукції і відображає рівень екологічних витрат на одну гривню випущеної продукції:

$$EM = EB / Q, \quad (2.27),$$

де EB – сума екологічних витрат [60].

Питома вага екологічних витрат у собівартості виробленої продукції $d_{\text{ековит}}$ розраховується за формулою:

$$d_{\text{ековит}} = EB / СП, \quad (2.28),$$

де $СП$ – собівартість виробленої продукції [60].

Питома вага утилізованих відходів у загальному обсязі їх утворень $d_{\text{від}}$ визначається за формулою:

$$d_{\text{від}} = УТИЛ / УТВОР, \quad (2.29)$$

де $УТИЛ$ – обсяг утилізованих відходів;

$УТВОР$ – обсяг утворених відходів [60].

Інтегральний показник загального рівня екологічної безпеки підприємства $РЕБ$ розраховується за формулою [60]:

$$РЕБ = \sqrt[3]{(1 - K_{\text{ЕШ}}) \cdot K_{\text{ЕКОН}} \cdot K_{\text{ЕКОЛ-ЕКОН}}}. \quad (2.30)$$

Важливою складовою оцінки техногенного навантаження на довкілля є комплексна оцінка на природні середовища урбанізованих територій з метою виявлення впливу на здоров'я населення. Комплексне техногенне навантаження міського середовища складається з пофакторних показників – кількісних характеристик основних факторів середовища, які визначають фактичне навантаження на організм людини: показників хімічного і біологічного забруднення повітряного середовища, води і ґрунтів, рівнів шуму [61].

Оцінка забруднення атмосферного повітря проводиться за показником забруднення атмосфери $K_{\text{атм}}$ за формулою К.А. Буштуєвої [62] з урахуванням повторюваності напрямків вітру:

$$K_{\text{атм}} = \left(\frac{C_1}{N_1 \cdot ГДК_1} + \frac{C_2}{N_2 \cdot ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{N_n \cdot ГДК_n} \right) \cdot t, \quad (2.31)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – середньодобові концентрації окремих ЗР, присутніх в атмосферному повітрі;

N – коефіцієнт, величина якого залежить від класу небезпеки речовини і дорівнює для I класу – 1, для II – 1,5, для III – 2, для IV – 4;

t – експозиція впливу суми забруднень C_1, C_2, \dots, C_n за повторюваністю напрямку вітру за рік [61].

Показник t розраховується за формулою:

$$t = P / P_0, \quad (2.32)$$

де P – середньорічна повторюваність напрямку вітру по румбах (%) від джерела забруднення на житлову зону;

P_0 – дорівнює 12,5 % (відсоток повторюваності напрямків вітрів одного румба при круговій розі вітрів) [61].

Показник забруднення повітря робочої зони $K_{вир}$ виробничих приміщень оцінюється аналогічно з наведеною методикою і формулою (2.31), а саме співвідноситься з $ГДКрз$, встановленої для атмосферного повітря [61].

Для визначення сумарного навантаження, що отримує населення протягом доби за рахунок забруднення повітряного середовища, сумують $K_{атм}$ і $K_{вир}$ з урахуванням тривалості впливу виявлених рівнів забруднення. При цьому сумарне навантаження на дітей визначається за формулою (2.31), а на доросле працююче населення – з урахуванням часу робочого дня (зазвичай 8 год.) і часу перебування в міському (побутовому) середовищі, що дорівнює часу, який залишився після роботи (16 год.):

$$K_{повітря} = (K_{атм} \cdot T_1 + K_{вир} \cdot T_2) / T, \quad (2.33)$$

де T_1 – час перебування в зоні проживання;

T_2 – час перебування в умовах виробництва;

T – загальний час доби (24 год.) [61].

Якщо оцінку необхідно виконати за річний період, то в даному випадку можна визначити середньорічне ($ГДКрік$). Середньорічне значення $ГДКрік$ виражається через $ГДКсд$ за співвідношенням:

$$ГДКрік = aГДКсд. \quad (2.34)$$

Коефіцієнт a визначається для різних речовин згідно з додатком Б.

Дозу шуму або сумарне шумове навантаження $K_{шум}$ за добу, яку отримує населення, розраховують з урахуванням 2-х періодів доби – денного і нічного в умовах побуту та одного виробничого. Отримані кількісні характеристики рівнів шуму співвідносять з гранично допустимими рівнями. Кожна з парціальних доз шуму – за кожний виділений відрізок часу протягом доби – визначається за різницею між фактичним і допустимим рівнями шуму в дБА згідно таблиці, наведений у додатку В [61].

Сумарне шумове навантаження визначається за формулою:

$$K_{шум} = (K_{шум.вир} \cdot T_1 + K_{шум.ден} \cdot T_2 + K_{шум.ніч} \cdot T_3) / T, \quad (2.35)$$

де $K_{шум.вир}$ – шумове навантаження на виробництві;

$K_{шум.ден}$ – шумове навантаження у побуті в денний час;

$K_{шум.ніч}$ – шумове навантаження у побуті у нічний період;

T_1, T_2, T_3 – час перебування на виробництві та у побуті вдень і вночі;
 T – час, що враховується (доба) [61].

При T , який дорівнює для кожного періоду часу 8 год., добове шумове навантаження визначається як:

$$K_{шум} = (K_{шум.вир} + K_{шум.ден} + K_{шум.ніч}) / T. \quad (2.36)$$

Показник сумарного хімічного забруднення води $K_{вода}$ розраховується за сумою відношень фактичних концентрацій кожної з присутніх у питній воді речовини до їх ГДК. Для визначення суми органічних речовин рекомендується використовувати інтегральний ультрафіолетовий показник (УФП). Визначення УФП полягає у вимірюванні величини поглинання зразків води на спектрофотометрі в ультрафіолетовій частині спектру (при довжині хвилі 254 нм). За допустиму величину УФП (УФП_{доп}) приймається середнє значення цього показника, що дорівнює 0,1 [61].

Показник сумарного хімічного забруднення води визначається за формулою:

$$K_{вода} = \frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} + \frac{УФП}{УФП_{доп}}, \quad (2.37)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – фактичні концентрації речовин, нормованих за токсикологічними та органолептичними показниками;

УФП – ультрафіолетовий показник, що визначається;

УФП_{доп} – допустимий УФП, що дорівнює 0,1 [61].

УФП визначається в залежності від санітарної ситуації.

Якщо необхідно врахувати фізіологічну повноцінність води відповідно до санітарної ситуації, що складається, використовується комплексний показник (показник «корисності» $K_{кор}$), що враховує такі інгредієнти води, вміст яких регламентується з позиції не тільки шкоди, але і користі для організму. До таких інгредієнтів, в першу чергу, відносяться F, Ca, Na і сухий залишок. Оптимальні величини складають: для F – 1 мг/дм³, Ca – 60 мг/дм³, Na – 100 мг/дм³, сухого залишку (СЗ) – 500 мг/дм³. У комплексний показник входять відносини реальних концентрацій до вказаних величин [61].

Для розрахунку $K_{кор}$ у разі перевищення реальних концентрацій над оптимумом застосовується формула:

$$K_{кор} = (C_F / 1,0 + C_{Ca} / 60,0 + C_{Na} / 100,0 + C_{СЗ} / 500,0). \quad (2.38)$$

Якщо реальні концентрації нижче оптимальних, то формула приймає вид:

$$K_{кор} = (1,0 / C_F + 60,0 / C_{Ca} + 100,0 / C_{Na} + 500,0 / C_{C3}). \quad (2.39)$$

Сумарний показник $K_{вода}$ у цьому випадку розраховується за формулою:

$$K_{вода} = K_{вода} (2.37) + K_{кор}^*, \quad (2.40)$$

де $K_{вода} (2.37)$ – показник $K_{вода}$, що розраховується за формулою (2.37);

* – речовини, які враховані при визначенні $K_{кор}$, виключаються з показника $K_{вода} (2.37)$ [61].

Техногенне навантаження на ґрунти, їх хімічне забруднення оцінюється за сумарним показником забруднення ґрунту $K_{ґрунт}$, який характеризує ступінь хімічного забруднення ґрунту і визначається як сума коефіцієнтів концентрацій окремих компонентів забруднення. Коефіцієнт концентрації визначається як частка від ділення фактичного вмісту речовин у ґрунті на його ГДК [61]:

$$K_{ґрунт} = C_1 / ГДК_1 + C_2 / ГДК_2 + \dots + C_n / ГДК_n. \quad (2.41)$$

Додатковими показниками, що характеризують гігієнічний стан ґрунту, є вміст яєць гельмінтів на 1 кг ґрунту (у задовільній ситуації яйця гельмінтів не виявляються), число патогенних мікроорганізмів в 1 кг ґрунту (допустимо вміст 10^4), коли-титр або найменша маса ґрунту в г, в якій міститься 1 кишкова паличка (більше 1,0). У випадках перевищення зазначеними показниками допустимих величин вони використовуються при оцінці санітарної ситуації [61].

Комплексне антропогенне навантаження на довкілля K_H кількісно оцінюється сумою пофакторних оцінок, розрахованих відповідно до вище наведених формул (2.33, 2.36, 2.40, 2.41):

$$K_H = (K_{повітря} + K_{шум} + K_{вода} + K_{ґрунт}) / N. \quad (2.42)$$

Нормативною величиною показника K_H є число одиниць, що відповідають кількості врахованих пофакторних оцінок (N) [61].

У роботі Є.В. Хлобистова та ін. [63] представлено методику розрахунку показників для інтегральної оцінки стану довкілля та динаміки його змін для районування території України за рівнем економічної безпеки і станом навколишнього середовища. Запропоновано розраховувати інтегральний бальний показник екологічного стану ($\Pi_{підсумок}$), який представляється у виді:

$$\Pi_{підсумок} = (\Pi_{вода}^i + \Pi_{атм}^i + \Pi_{зем}^i) / 3, \quad (2.43)$$

де $\Pi_{вода}^i$, $\Pi_{атм}^i$, $\Pi_{зем}^i$ – інтегральний бальний показник стану водних ресурсів, атмосферного повітря, земельних ресурсів відповідно [63].

Інтегральний показник стану водних ресурсів визначається за формулою:

$$\Pi_{вода} = 1000 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (2.44)$$

де K_1 – визначає співвідношення водоспоживання із наявністю водних ресурсів;

K_2 – визначає співвідношення об'єму неочищених СВ до використання свіжої води на регіональні потреби;

K_3 – характеризує витрати питної води на одну особу в регіоні;

K_4 – характеризує частку забруднюючих речовин с перевищенням ГДС у загальному обсязі скинутих ЗР [63].

Інтегральний показник стану атмосферного повітря визначається за формулою:

$$\Pi_{атм} = 0,001 \cdot m \cdot I, \quad (2.45)$$

де $\Pi_{атм}$ – визначається у тонах умовного навантаження (т.у.м.);

m – фактична маса викиду шкідливих речовин за рік усіма джерелами на території досліджуваного регіону, тис. т;

I – регіональний коефіцієнт, що враховує рівень впливу соціально-економічних і природно-кліматичних факторів, еколого-економічні наслідки техногенного навантаження по регіонах України [63].

Коефіцієнт I можна враховувати згідно рекомендацій, наведений у роботі [64] (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Коефіцієнт I , який враховує еколого-економічні наслідки техногенного навантаження [64]

Тип території	Значення коефіцієнта I
Сільське господарство	0,25
Селітебна територія	0,055
Лісове господарство	0,11

Інтегральний показник стану земельних ресурсів визначається за формулою:

$$\Pi_{зем} = \frac{0,1 \cdot B \cdot \Pi_{ан} (1 + T_{ан})}{\Pi_{пр} (1 + T_{пр})} \cdot K_{відх}, \quad (2.46)$$

де B – бал бонітету ґрунтів;

$\Pi_{пр}$ – продуктивність антропогенно-природних ландшафтів, вироблена

біомаса, т/рік;

T_{np} – частка антропогенно-природних ландшафтів;

$P_{ан}$ – продуктивність антропогенних ландшафтів, вироблена біомаса, т/рік;

$T_{ан}$ – частка антропогенних ландшафтів;

$K_{відх}$ – коефіцієнт, що враховує наявність відходів I – III класу небезпеки на кінець звітної року у спеціально відведених місцях чи об'єктах на території підприємств на 1 км² площі [63].

I.C. Копиловим [65] запропоновано методику інтегральної оцінки геоecологічного стану територій. Основними об'єктами оцінки визначені такі компоненти: літогенна основа, ландшафти, ґрунт, донні відклади, підземні води, поверхневі води і приповерхнева атмосфера, за якими виділені 10 найбільш важливих показників (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Критерії оцінки стану природного середовища та його компонентів [65]

Компоненти	Показники	Екологічна оцінка (в дужках – оціночні бали)			
		Допустимі	Помірно небезпечні	Небезпечні	Надзвичайно небезпечні
Літогенна основа	1. Ендогенні процеси (сейсмічність, бали)	< 5 (1)	5 – 6 (2, 3, 4)	7 – 8 (5, 6, 7)	> 8 (8, 9, 10)
	2. Геодинамічна активність (щільність тектонічних порушень)	Слабка (нижче середнього) (1)	Помірна (середня) (2, 3, 4)	Висока (вище середнього) (5, 6, 7)	Дуже висока (аномальна) (8, 9, 10)
	3. Ураженість території екзогенними процесами (%)	Допустима < 5 (1)	Помірно небезпечна 5 – 20 (2, 3, 4)	Небезпечна 20 – 30 (5, 6, 7)	Надзвичайно небезпечна > 30 (8, 9, 10)
Ландшафти	4. Ступінь порушення території (%)	Слабо змінені < 10 (1)	Середньо змінені 10 – 25 (2, 3, 4)	Сильно змінені 25 – 50 (5, 6, 7)	Дуже сильно змінені > 50 (8, 9, 10)
Ґрунти	5. Хімічне забруднення (за ГДК у залежності від класу небезпеки)	Допустиме	Помірно небезпечне	Небезпечне	Надзвичайно небезпечне
	1 клас небезпеки 2 клас небезпеки 3 клас небезпеки	< 1 < 1 < 1 (1)	1 – 1,5 1 – 2,5 1 – 5 (2, 3, 4)	1,6 – 3 2,6 – 10 5,1 – 20 (5, 6, 7)	> 3 > 10 > 20 (8, 9, 10)
	6. Радіоактивне забруднення (мкР/год)	Допустиме < 16 (1)	Помірно небезпечне 16 – 25 (2, 3, 4)	Небезпечне 26 – 35 (5, 6, 7)	Надзвичайно небезпечне > 35 (8, 9, 10)

Продовження таблиці 2.6

Компоненти	Показники	Екологічна оцінка (в дужках – оціночні бали)			
		Допустиме	Помірно небезпечне	Небезпечне	Надзвичайно небезпечне
Донні відклади	7. Хімічне забруднення (за ГДК у залежності від класу небезпеки)				
	1 клас небезпеки	< 1	1 – 1,5	1,6 – 3	> 3
	2 клас небезпеки	< 1	1 – 2,5	2,6 – 10	> 10
	3 клас небезпеки	< 1 (1)	1 – 5 (2, 3, 4)	5,1 – 20 (5, 6, 7)	> 20 (8, 9, 10)
Підземні води	8. Хімічне забруднення вод зони активного водообміну (у ГДК)				
	1 – 2 клас небезпеки	< 1	1 – 5	5 – 10	> 10
	3 – 4 клас небезпеки	< 1 (1)	1 – 50 (2, 3, 4)	50 – 100 (5, 6, 7)	> 1000 (8, 9, 10)
Поверхневі води	9. Хімічне і пестицидне забруднення (у ГДК)				
	1 – 2 клас небезпеки	< 1	1 – 5	5 – 10	> 10
	3 – 4 клас небезпеки	< 1 (1)	1 – 50 (2, 3, 4)	50 – 100 (5, 6, 7)	> 1000 (8, 9, 10)
Приповерхнева атмосфера	10. Комплексне забруднення повітря (обсяг викидів ЗР, т/км ²)	Невисоке < 2 (1)	Середнє 2 – 4 (2, 3, 4)	Високе 4 – 10 (5, 6, 7)	Дуже високе > 10 (8, 9, 10)
Сумарна оцінка стану природного середовища та його компонентів		Сприятливий (< 20)	Умовно сприятливий (20 – 40)	Несприятливий (40 – 60)	Вельми несприятливий (> 60)

Як видно з таблиці, сумарний бал оцінки містить 4 градації за сумою балів по 10 показниках.

Показники оцінки техногенного навантаження на довкілля можуть застосовуватись і для інших цілей. Так, одним з підходів є оцінка медико-екологічної напруженості регіонів [66]. З урахуванням певних пріоритетних критеріїв, що характеризують напруженість медико-екологічної ситуації можна розрахувати інтегральний критерій, що

характеризують ризик виникнення екологічно обумовленої патології у населення регіону.

Рейтинг медико-екологічної напруженості I_{m-e} розраховується за формулою:

$$I_{m-e} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6, \quad (2.47)$$

де I_1 – загальна захворюваність дорослого населення (випадків на 1000);
 I_2 – захворюваність новоутвореннями дорослого населення (випадків на 1000);
 I_3 – загальна захворюваність дитячого населення (випадків на 1000);
 I_4 – сумарне емісійне навантаження на повітряний басейн (т/рік/км²);
 I_5 – сумарне техногенне навантаження на поверхневі води (тис. м³/рік);
 I_6 – питоме техногенне навантаження на земельні ресурси (кг/га/рік) [66].

Одним з альтернативних підходів оцінки з урахуванням індивідуальності показників, що аналізуються, є кластерний аналіз. Для реалізації даного методу визначається набір необхідних показників, які дозволяють сформувати системну картину щодо впливу техногенних факторів на стан довкілля. При цьому стан довкілля розглядається як стан сукупності його складових – атмосферного повітря, природних вод, ґрунтового покриву і ГС.

Кластерний аналіз використовується в різноманітних сферах діяльності. Його метою є класифікація об'єктів дослідження на відносно однорідні групи з урахуванням кількості показників, що аналізуються [67].

Методи побудови кластерних моделей за способами обробки даних поділяються на два типи – ієрархічний і неієрархічний. За допомогою ієрархічної процедури можна поєднувати елементи кластерів на базі понять відстані чи подібності між точками в багатомірному просторі ознак. Результатом є дендрограма (дерево рішень), яка показує етапи об'єднання за певними характеристиками. Для застосування неієрархічних методів обов'язковою є попередня розбивка даних на певне число кластерів і подальша робота з первинними даними [67].

Ієрархічні методи характеризуються побудовою ієрархічної або деревоподібної структури, коли відбувається послідовне угруповання (поділ) об'єктів. Дана група методів кластеризації розрізняється правилами побудови кластерів. Як основне правило виступають критерії, що використовуються при вирішенні питання про «схожість» об'єктів при їх об'єднанні в групу (агломеративні методи) або розділення на групи (дивізімні методи) [67].

Ієрархічні агломеративні методи можна розрізнити за правилами групування кластерів. Серед них найпоширенішими є: метод ближнього сусіда або одиночний зв'язок; метод найбільш видалених сусідів або

повний зв'язок; метод Варда; метод незваженого попарного середнього; метод міжгрупового зв'язку [67].

У роботах, присвячених оцінці техногенного навантаження на довкілля регіонів України, найчастіше застосовують метод Варда і обрання Евклідової відстані як міра схожості (подібності об'єктів). Подібні дослідження виконувались багатьма дослідниками, в т.ч. А.І. Волковим (2008), О.В. Балуєвою та Н.М. Чинкуляк (2013), А.В. Лесь та А.В. Ращенко тощо. В якості відстані між кластерами використовується приріст суми квадратів відстаней об'єктів до центрів кластерів, що отримується при їх об'єднанні [68]. На кожному кроці об'єднуються такі два кластери, які призводять до мінімального збільшення цільової функції, тобто внутрішньогрупових суми квадратів. Цей метод направлений на об'єднання близько розташованих кластерів і спрямований створювати кластери малого розміру [67, 69]. До переліку показників, які використовуються для аналізу, входять обсяги викидів ЗР, параметри водоспоживання і водовідведення, утворення і накопичення відходів, стану і використання земель. Приклад реалізації кластерного аналізу техногенного навантаження з побудовою дендрограми наведено на рис. 2.1.

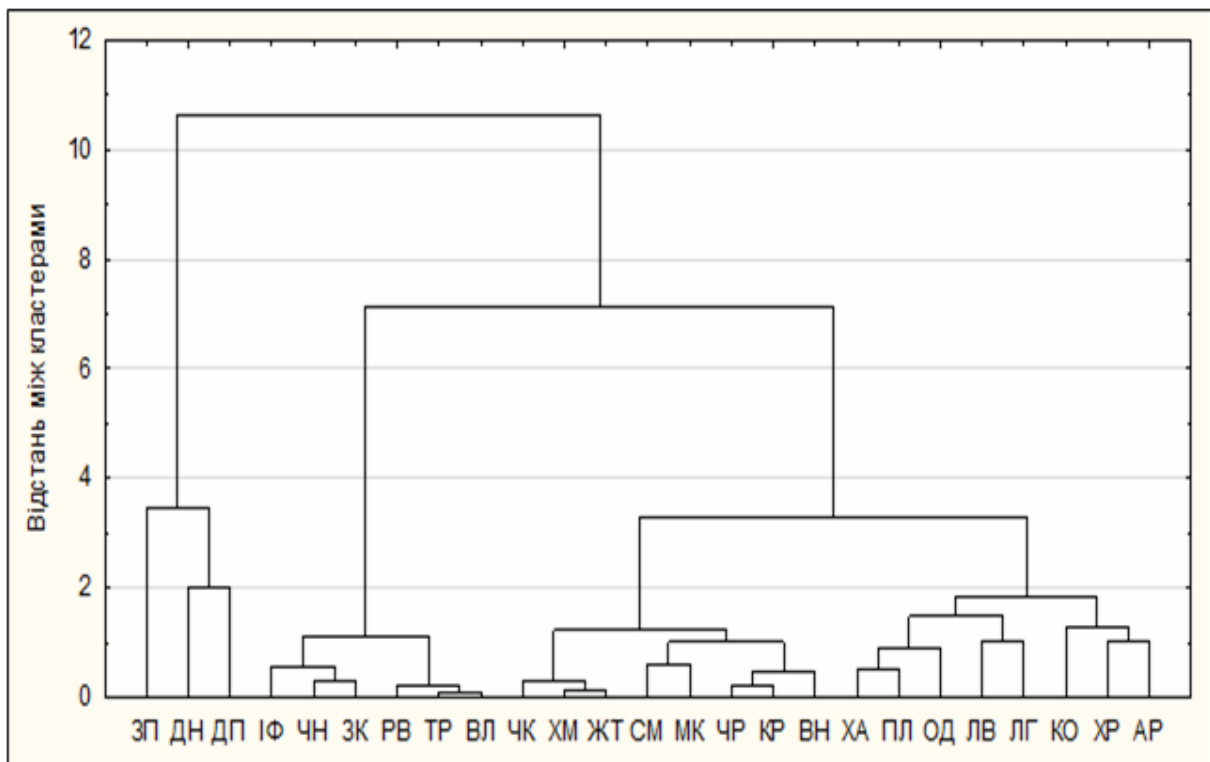


Рисунок 2.1 – Приклад реалізації кластерного аналізу для оцінки техногенного навантаження на довкілля [68]

Ще одним з показників оцінки рівня техногенного навантаження на довкілля, який найчастіше застосовується в Україні, є модуль техногенного

навантаження (*MTH*). У розділі 1 цей показник вже згадувався як складова оцінки стану ПВ. Він визначається як сума вагових одиниць всіх видів відходів (твердих, рідких, газоподібних) промислових, сільськогосподарських і комунальних об'єктів за часовий проміжок – 1 рік, віднесена до площі адміністративного району або області, в межах якої розташовані ці об'єкти, що вимірюються в тис. т/км² на рік [70].

Модуль техногенного навантаження був запропонований для характеристики техногенного навантаження на території регіонів України. У роботі [71] авторами територія України була поділена на такі регіони:

– *техногенно-напружені регіони* – значення *MTH* коливаються в межах 100 – 1000 тис. т/км² (до них були віднесені Київська, Донецька, Дніпропетровська і Запорізька області);

– *регіони із середніми показниками MTH* – 10 – 50 і 50 – 100 тис. т/км² (до них були віднесені Львівська, Івано-Франківська, Хмельницька, Вінницька, Одеська, Черкаська, Полтавська, Харківська, Луганська, Херсонська та Автономна Республіка Крим);

– *регіони з мінімальними показниками MTH* – 1 – 10 тис. т/км² (до таких віднесені Волинська, Рівненська, Житомирська, Чернівецька, Тернопільська і Закарпатська області).

З урахуванням принципу розрахунку *MTH*, запропонованого О.М. Адаменком і Г.І. Рудьком (1997), було удосконалено процедуру розрахунку і запропоновано розраховувати окремі модулі навантаження на складові довкілля [72]. До таких модулів були віднесені:

1) модуль техногенного навантаження на повітряний басейн (*M_{ПВ}*) за показниками обсягів викидів ЗР від стаціонарних і пересувних джерел (цей показник передбачає суму двох значень);

2) модуль техногенного навантаження на водні об'єкти (*M_{ВО}*) за показниками скидів стічних вод і ЗР у їх складі (цей показник не передбачає сумування, оскільки кількість ЗР у стічних та інших зворотних водах є їх складовою);

3) модуль техногенного навантаження на геологічне середовище (*M_{ГС}*) умовно за показниками відходів, які утворено і накопичено в регіоні (цей показник також може передбачати суму двох значень).

Застосування модулів техногенного навантаження на окремі складові довкілля з метою оцінки і порівняльного аналізу – це багатоступенева процедура. У її складі можна виділити такі основні етапи:

- формування початкової бази даних з вихідної інформацією;
- розрахунок окремих модулів на складові довкілля з урахуванням площі регіону;
- побудова графічного матеріалу для подальшого просторо-часового аналізу.

З метою спрощення процедури розрахунку окремих модулів техногенного навантаження на складові довкілля було розроблено

програмний модуль «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ» [72], який дозволяє прискорити процес розрахунку і спростити побудову графічного представлення результатів розрахунків. З цією метою був застосований пакет Microsoft Office Access.

На рис. 2.2 наведено блок-схему програмного модуля «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ».

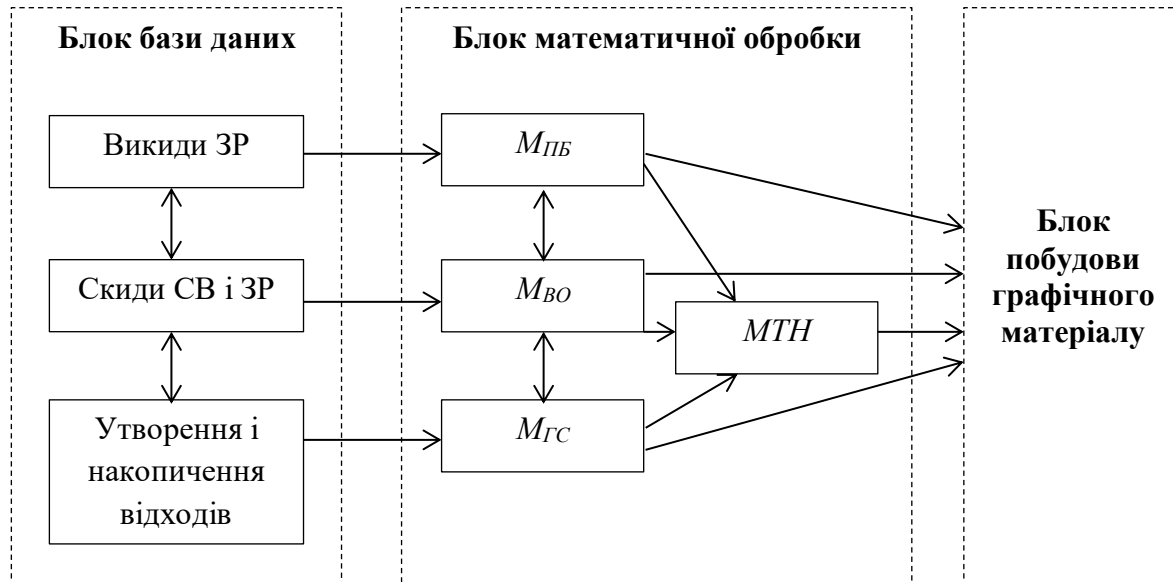


Рисунок 2.2 – Структурна схема програмного модуля «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ»

Для реалізації даного модуля на першому етапі необхідно створити базу вихідних даних, які містять інформацію про обсяги викидів ЗР, скидів ЗР і СВ, утворення і накопичення відходів, а також відомості щодо площі регіону дослідження. База даних формується у пакеті Microsoft Excel, і функціонально програмний модуль пов'язаний з вихідною базою даних.

Загальний інтерфейс модуля «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ» у пакеті Microsoft Access наведено на рисунку 2.3.

На наступних етапах модуль дозволяє отримати результати розрахунків окремих модулів навантаження на складові довіклля, а також гістограми динаміки зміни розрахованих показників. Приклад реалізації цих етапів наведено на рисунках 2.4 – 2.7.

Запропонований програмний модуль «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ» суттєво спрощує процедуру розрахунку. База вихідної інформації може збільшуватися або змінюватися із зміною об'єкта дослідження. Тобто відсутня необхідність проводити розрахунки знову, якщо змінюється вихідна інформація. Розроблений модуль є нескладним для роботи, не потребує будь-якої спеціальної підготовки для користувачів.

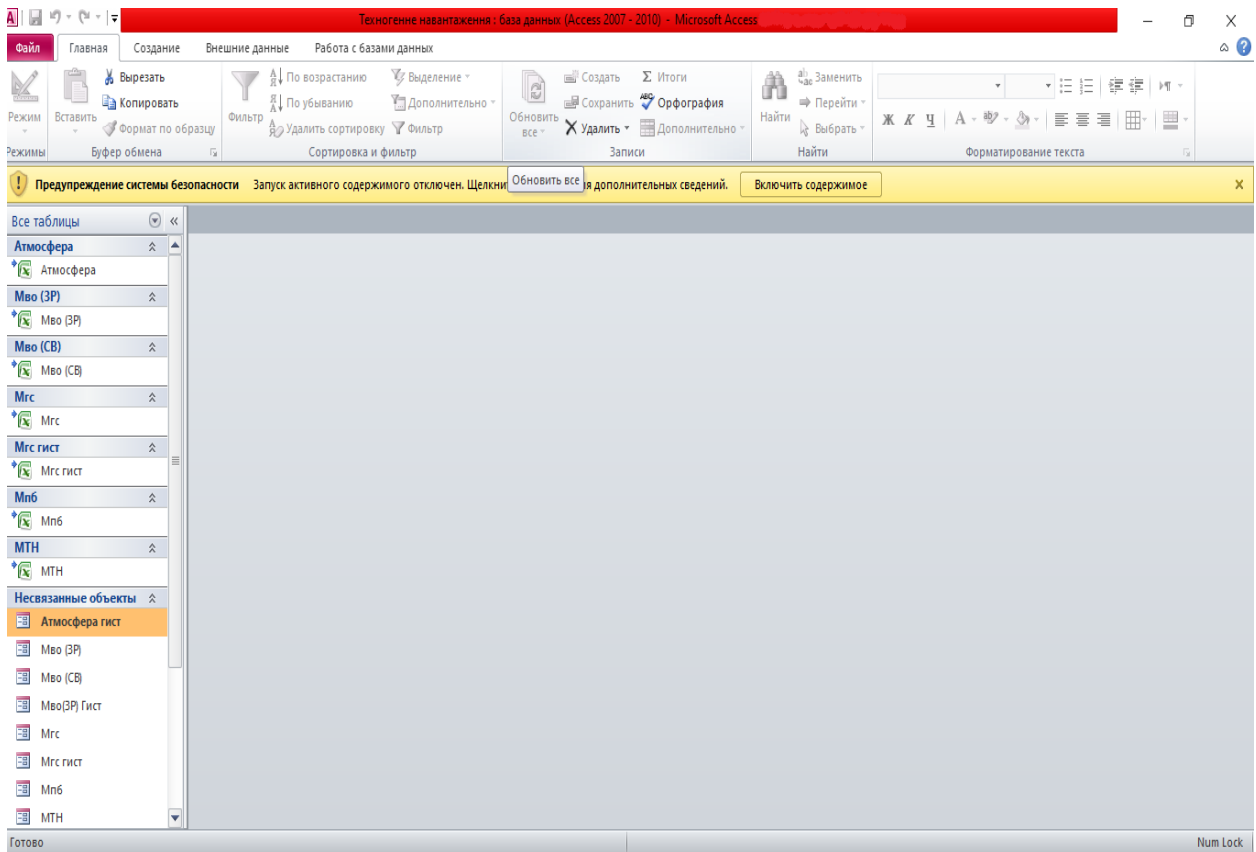


Рисунок 2.3 – Интерфейс программного модуля «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ»

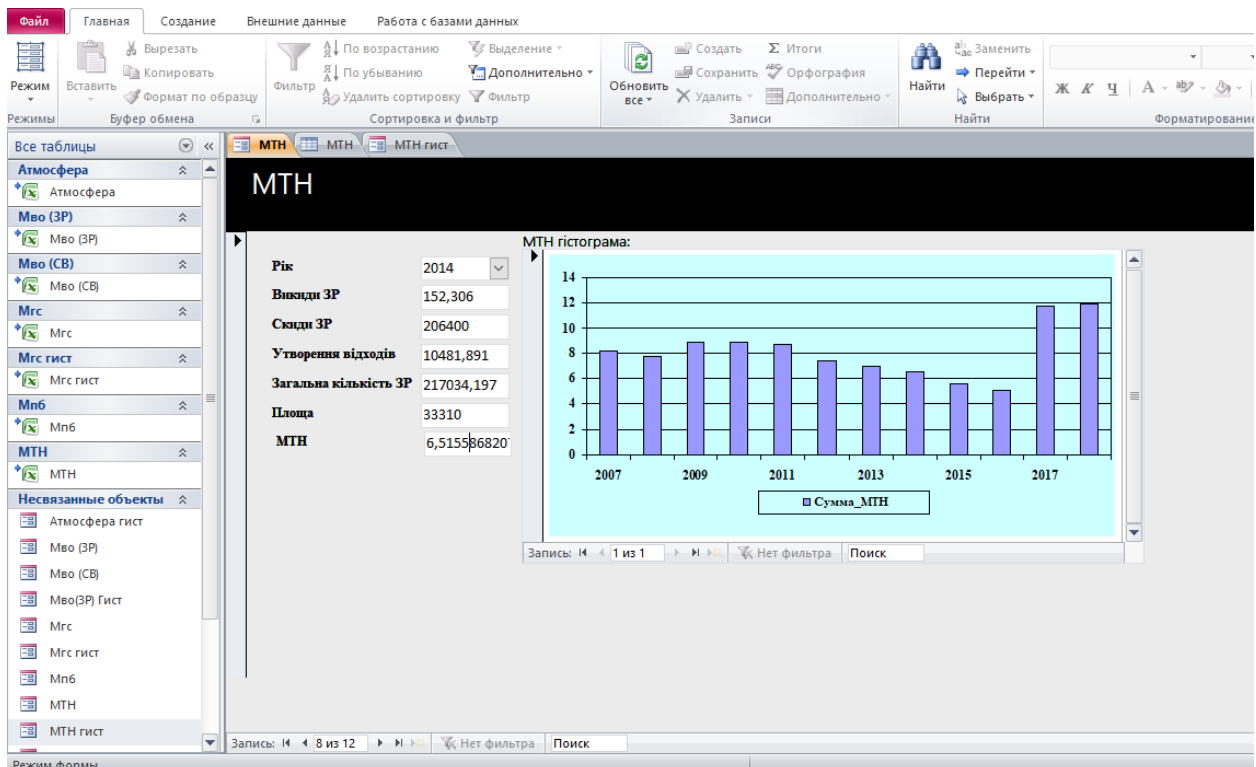


Рисунок 2.4 – Приклад графічного відображення *МТН* на довкілля

Мпб	всього	Рік	стаціонарні	пересувні	площа
Мво (ЗР)	131,4	2003	26,4	105	33310
Мво (СВ)	140,7	2004	29,2	11,5	
Мво (СВ)	141,088	2005	40,455	100,633	
Мгс	140,07	2006	41,9	98,17	
Мгс гист	189,6	2007	35,8	153,8	
Мгс гист	192,2	2008	34,4	157,8	
Мгс гист	175,1	2009	25,9	149,2	
Мпб	181,171	2010	29,165	152,006	
Мпб	173,084	2011	30,494	143,31	
МТН	168,947	2012	28,138	140,809	
МТН	164,796	2013	26,196	138,6	
МТН	152,306	2014	23,22	129,086	
МТН	129,674	2015	26,074	103,6	
МТН	146,517	2016	26,373	120,44	
МТН	164,33	2017	29,598	134,732	
МТН	207,84	2018	37,412	170,428	

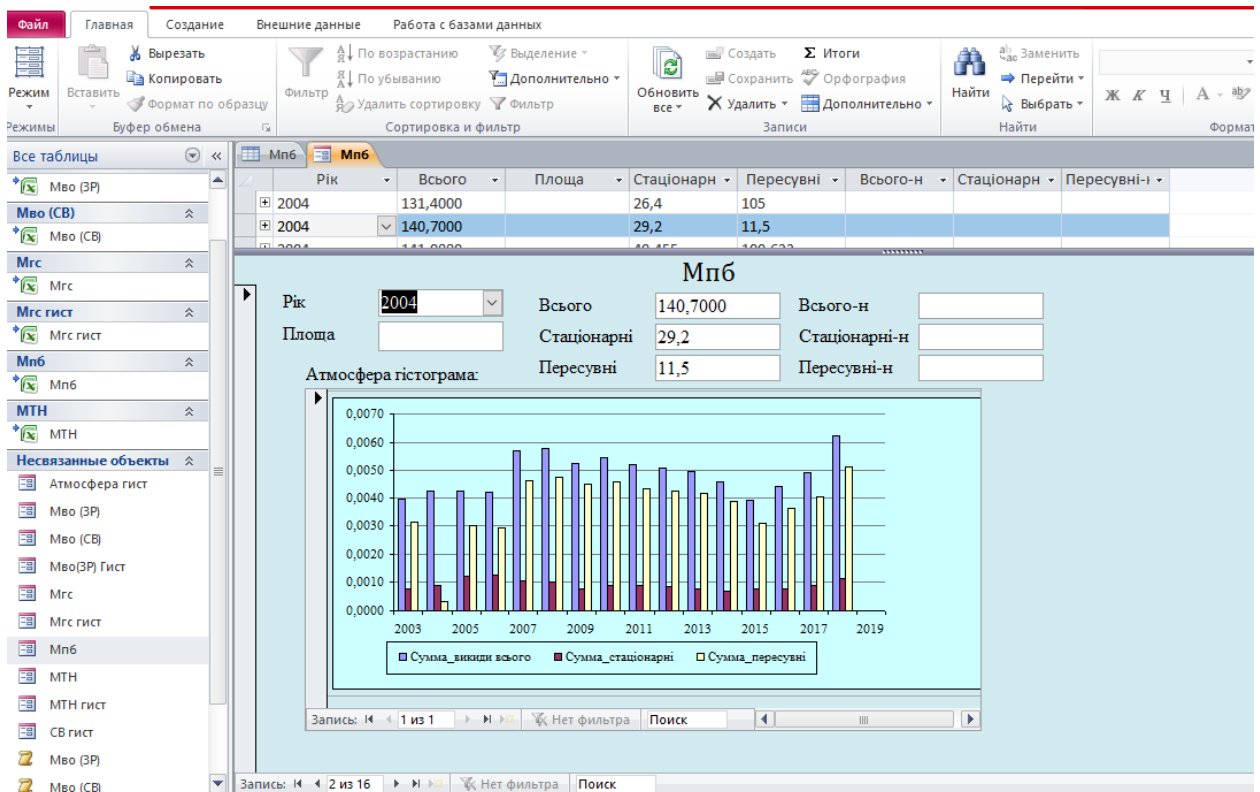


Рисунок 2.5 – Приклад розрахунку показника $M_{ПБ}$ і його графічне відображення

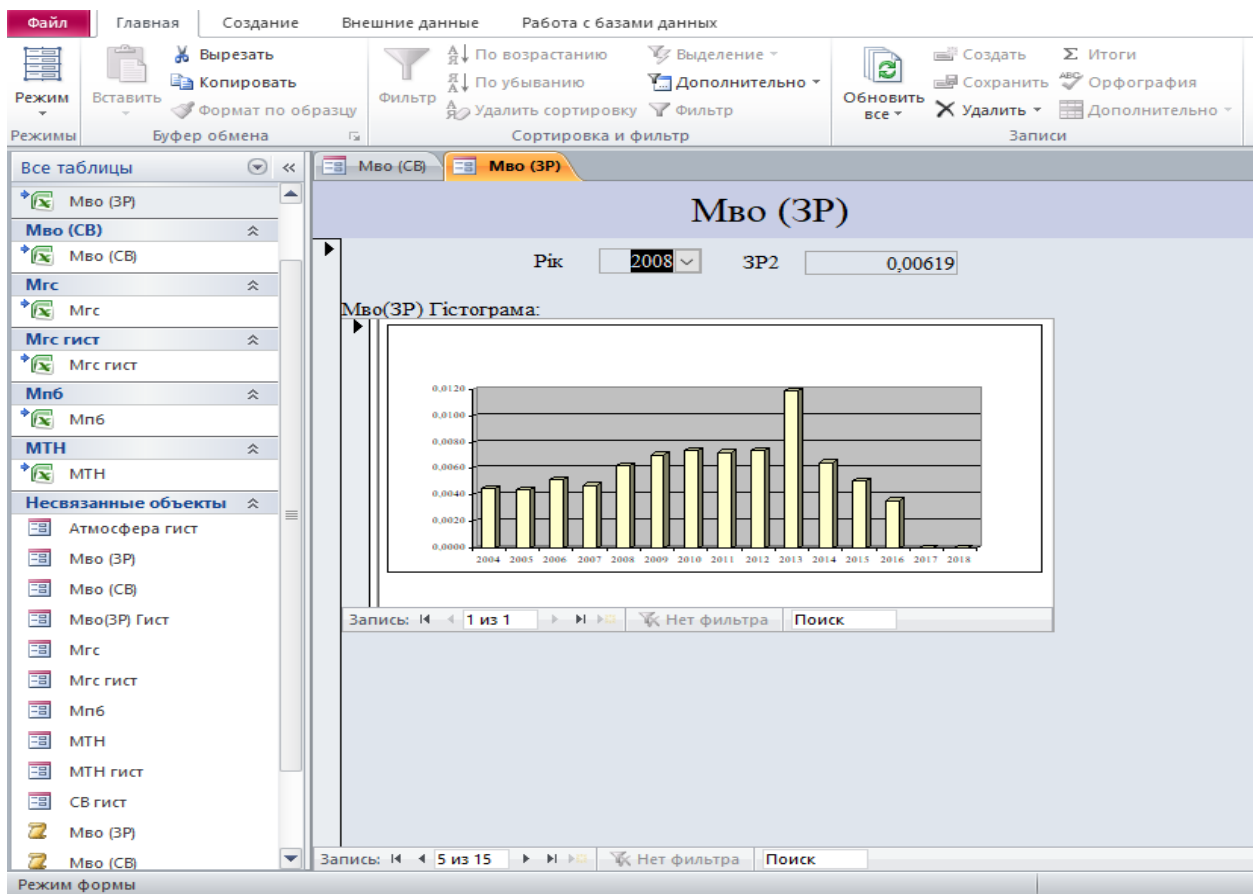
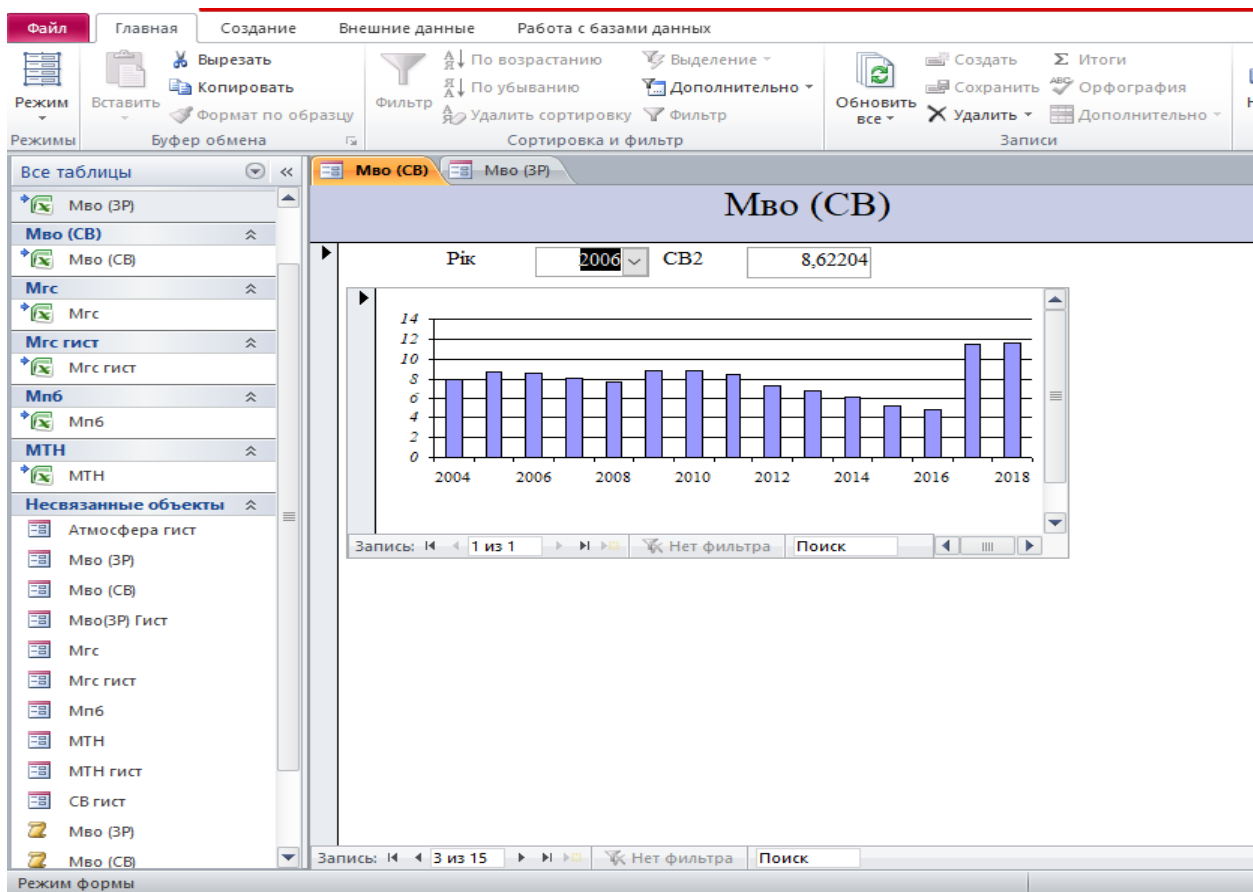


Рисунок 2.6 – Приклад графічного відображення показника M_{BO}

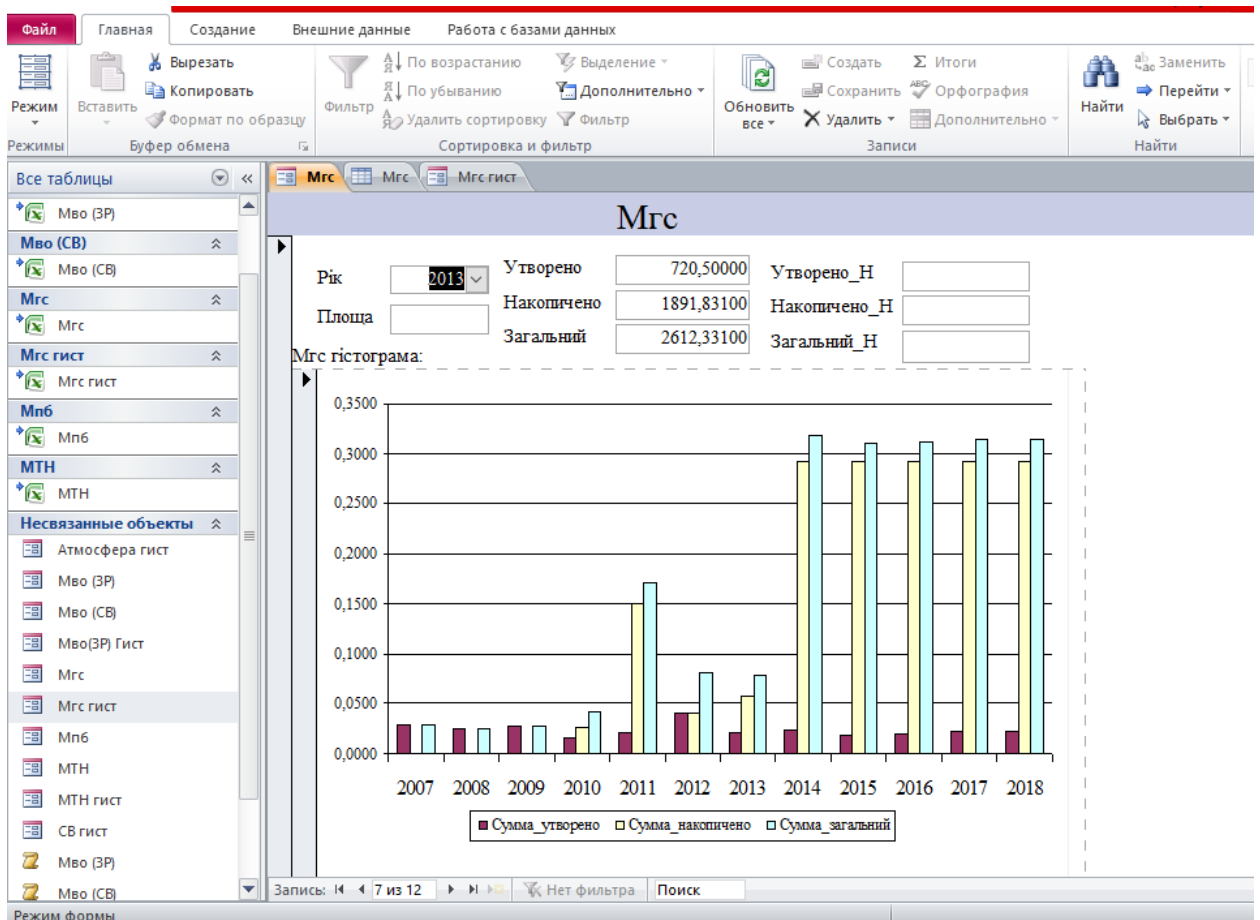
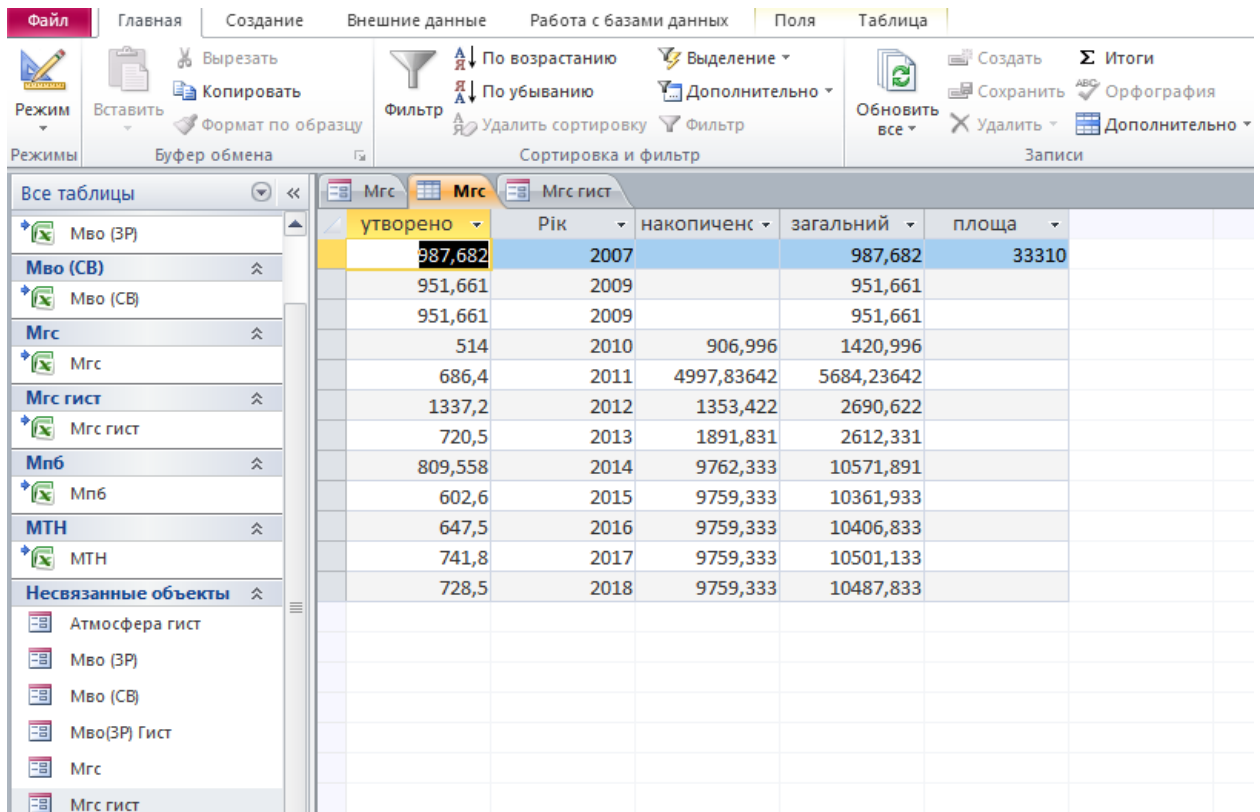


Рисунок 2.7 – Приклад розрахунку показника $M_{ГC}$ і його графічне відображення

Питання для самоперевірки

1. Які принципи оцінки транспортного навантаження на території?
2. Які існують показники стану довкілля за індикаторами поведження з відходами?
3. Як розрахувати коефіцієнти природної захищеності ($K_{нз}$), абсолютної (K_a) і відносної ($K_в$) антропогенної напруженості земель?
4. Що таке «гранично допустиме техногенне навантаження»?
5. Що таке «індекс стійкості екосистеми»?
6. Яка формула розрахунку комплексного показника техногенного впливу на навколишнє середовище певної території?
7. Як визначається коефіцієнт техногенного навантаження на регіон з урахуванням наявності об'єктів критичної транспортної інфраструктури?
8. Як визначається комплексний показник для оцінки екологічної безпеки підприємств?
9. Як визначається інтегральний коефіцієнт впливу еколого-економічних факторів?
10. Як визначається показник забруднення атмосфери ($K_{атм}$)?
11. Яка формула визначення сумарного шумового навантаження?
12. Яка розраховується показник сумарного хімічного забруднення води?
13. Як визначається комплексний показник (показник «корисності») води?
14. Як визначається сумарний показник забруднення ґрунтів?
15. Як визначається комплексне антропогенне навантаження на довкілля?
16. Як визначається інтегральний бальний показник екологічного стану?
17. Як визначається інтегральний показник стану земельних ресурсів?
18. У чому полягає суть методики інтегральної оцінки геоекологічного стану територій?
19. За якою формулою визначається рейтинг медико-екологічної напруженості?
20. У чому суть кластерного аналізу техногенного навантаження?
21. Що таке «модуль техногенного навантаження»?
22. За якими показниками визначається модуль техногенного навантаження на повітряний басейн ($M_{ПВ}$)?
23. За якими показниками визначається модуль техногенного навантаження на водні об'єкти ($M_{ВО}$)?
24. За якими показниками визначається модуль техногенного навантаження на геологічне середовище ($M_{ГС}$)?
25. З якою метою розроблено програмний модуль «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ»?

ГЛОСАРІЙ

Антропогенний вплив – прямий чи опосередкований вплив людства на навколишнє середовище і його компоненти внаслідок господарської діяльності.

Біота – сукупність живих організмів, життєдіяльність яких відбувається в товщах гірських порід, родючих ґрунтах та інших природних середовищах і змінює їх фізичні й механічні властивості.

Біогеохімічна ендемія – захворювання рослин, тварин і людей, спричинені дефіцитом чи надлишком (дисбалансом) хімічного елемента в природних середовищах.

Біохімічне споживання кисню (БСК) – визначається як кількість кисню, що споживається мікроорганізмами при окислюванні органічних речовин, які містяться в одиниці об'єму води, за визначений період часу. На практиці БСК оцінюють за 5 діб (БСК₅) і за 20 діб (БСК₂₀); зазвичай БСК₂₀ трактують як повне БСК.

Важкі метали – хімічні елементи, атомна маса яких звичайно перевищує масу заліза (55,847). Частка їх бере активну участь у біохімічних процесах, входячи до складу багатьох ферментів, але окремі (Pb, Cu, Hg, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi та ін.) забруднюють навколишнє середовище і спричиняють токсичний вплив на біоту. Важкі метали містяться у водних об'єктах у вигляді вільних (гідратованих) іонів, комплексних сполук різної природи та у складі завислих речовин.

Відходи – це будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються в процесі людської діяльності і не використовуються потім за місцем утворення або виявлення, від яких їх власник позбавляється, має намір або зобов'язаний позбавитися шляхом їх утилізації або видалення.

Водний об'єкт – зосередження природних вод на поверхні суші або в літосфері, яке має характерні форми поширення і риси гідрологічного режиму і належить до природних ланок кругообігу води (ДСТУ 3041–95).

Водокористування – використання вод (водних об'єктів) для задоволення потреб населення і галузей економіки (Водний кодекс України, 1995); використання водних об'єктів і систем водопостачання для задоволення потреб населення і народного господарства (ДСТУ 3041–95).

Геодинамічна група критеріїв – використовується для оцінки еколого-геологічного стану рельєфу і підземного простору літосфери, а також для оцінки розвитку природних і антропогенних процесів.

Геологічне середовище: 1) частина літосфери, а точніше земної кори, що безпосередньо виступає як мінеральна основа біосфери, є одним із найважливіших компонентів довкілля; 2) верхня частина літосфери, що розглядається як багатокomпонентна система, яка перебуває під впливом

інженерно-господарської діяльності людини і, у свою чергу, певною мірою визначає цю діяльність.

Геофізична група критеріїв – практично для всіх геофізичних полів можна говорити про порогові значення прямих критеріїв оцінки, виражених через гранично припустимі рівні, що відбивають гігієнічний норматив впливу електричних і електромагнітних полів на людський організм.

Геохімічна аномалія – ділянка території, у межах якої хоча б в одному з природних тіл, що її складають, статистичні параметри розподілу хімічних елементів відрізняються від геохімічного тіла (середньої величини природної варіації вмісту хімічних елементів).

Геохімічна група критеріїв: 1) санітарно-гігієнічний – заснований на величинах *ГДК* токсикантів; 2) геохімічний – заснований на використанні кларків концентрацій, фонових величин, сумарних величин токсикантів і інших параметрів; 3) біогеохімічний – оцінюючий рослини як інтегральний показник вмісту токсичних хімічних елементів в ґрунтах.

Гранично допустимі концентрації (*ГДК*) – максимальні концентрації, при яких речовини не впливають безпосередньо або опосередковано на стан здоров'я населення (при дії на організм продовж всього життя) і не погіршують гігієнічні умови водокористування.

Гранично допустимий скид (*ГДС*) – кількість забруднювальних речовин у стічних водах, максимально допустима для відведення в установленому режимі у певному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення норм якості води у контрольному пункті.

Гранично допустима концентрація максимально разова (*ГДК_{мр}*) – відноситься до 20-30 хвилинного інтервалу осереднення, встановлюється для попередження рефлекторних реакцій людини (відчуття запаху, світлочутливість) і не викликає змін біоелектричної активності головного мозку.

Гранично допустима концентрація середньодобова (*ГДК_{сд}*) – концентрація забруднюючої речовини в повітрі, що не справляє на людину прямого або непрямого шкідливого впливу при цілодобовому вдиханні; відноситься до необмеженого періоду осереднення і введена з метою попередження загальнотоксичної, мутагенної, канцерогенної або іншої дії.

Гранично допустима концентрація робочої зони (*ГДК_{рз}*) – це рівень концентрації забруднюючої речовини, який не повинен викликати у робітників при щоденному вдиханні протягом 8 год. (але не більше 41 год. на тиждень) захворювань або призводити до погіршення стану здоров'я у віддалені терміни. Під *робочою зоною* розуміють шар повітряного простору висотою 2 м, де розташовується постійне або тимчасове робоче місце.

Гранично допустима норма – це така міра впливу на природу, за якої стабільно забезпечується нормальний процес обміну речовини, енергії, інформації в екологічних системах Землі.

Ґрунти – всі гірські породи, властивості яких вивчаються задля цілей будівництва споруд, тобто як природні основи інженерних споруд.

Ґрунт родючий – рослинно-ґрунтовий приповерхневий шар гірських порід з органічною речовиною (гумусом), придатний для живлення рослин.

Джерело забруднення – господарський або природний об'єкт, а також природне явище, що спричиняють забруднення води (ДСТУ 3041–95).

Екологічний ризик – кількісна оцінка впливу існуючої чи нанесеної техногенезом небезпеки геологічного середовища здоров'ю, життю людей чи об'єктам життєдіяльності людини.

Екосистема – сукупність специфічного фізико-хімічного оточення (біотопу) і сукупності живих організмів (біоценозу), об'єднаних у єдине функціональне ціле, що виникла на основі взаємозалежності й причинно-наслідкових зв'язків, що існували між окремими компонентами.

Забруднення – привнесення в воду, повітря та ґрунт хімічних речовин, фізичних реагентів або організмів, які несприятливо впливають на середовище мешкання людей, рослин і тварин.

Забруднення біологічне – привнесення в середовище нових, не властивих йому раніше, біологічних агентів або створення сприятливих умов для надмірного збільшення їх чисельності (біомаси), що перевищує норму в природних умовах, в тому числі внаслідок набуття ними нових властивостей.

Забруднення води – надходження до водного об'єкта фізичних, хімічних чи біологічних речовин або енергії, що спричинює погіршення якості води (ДСТУ 3041–95).

Забруднення підземних вод – скид людиною (прямий чи непрямий) речовин чи енергії в водоносні горизонти, який в результаті спричиняє ризик для здоров'я людей, шкоду живим та водним ресурсам, або заважає використовувати воду в інших цілях.

Забруднення фізичне пов'язане зі зміною фізичних, температурно-енергетичних, хвильових і радіаційних параметрів зовнішнього середовища.

Забруднення хімічне – збільшення кількості хімічних компонентів певного середовища, а також надходження в середовище забруднюючих речовин, не властивих йому або в концентраціях, що перевищують норму.

Захищеність підземних вод – їхня ізольованість як за рахунок природних, так і штучних факторів від впливу потоків шкідливих речовин з техногенних джерел.

Зворотна вода – вода, що повертається за допомогою технічних споруд і засобів із господарської ланки кругообігу води до його природних ланок у вигляді стічної, скидної і дренажної води.

Кларк – середній вміст хімічного елемента в земній корі; для кожного регіону ця величина може відрізнятися (тобто кожен хімічний елемент може створювати свій регіональний фон).

Лімітуюча ознака шкідливості (ЛОШ) – одна з ознак шкідливості хімічних речовин, що забруднюють воду, яка визначає їхній негативний вплив і характеризується найменшим значенням ефективної-неефективної концентрації (ДСТУ 3041–95). У рибогосподарських нормах встановлено такі ЛОШ: токсикологічна; санітарно-токсикологічна, загальносанітарна, органолептична, рибогосподарська.

Лімітуючі показники – це всі показники, за якими визначається якість води, тобто це всі речовини, для яких визначені гранично допустимі концентрації.

Міграція хімічних елементів – перенесення та перерозподіл хімічних елементів в земній корі та на поверхні Землі.

Модуль техногенного навантаження – сума вагових одиниць всіх видів відходів (твердих, рідких, газоподібних) промислових, сільськогосподарських і комунальних об'єктів за часовий проміжок – 1 рік, віднесена до площі адміністративного району або області, в межах якої розташовані ці об'єкти (в т/км² на рік).

Модуль техногенного навантаження на повітряний басейн – визначається за показниками обсягів викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел (цей показник передбачає суму двох значень).

Модуль техногенного навантаження на водні об'єкти – визначається за показниками скидів стічних вод і забруднювальних речовин у їх складі (цей показник не передбачає сумування, оскільки кількість забруднювальних речовин у стічних та інших зворотних водах є їх складовою).

Модуль техногенного навантаження на геологічне середовище – умовно визначається за показниками відходів, які утворено і накопичено в регіоні (цей показник також може передбачати суму двох значень).

Навколишнє середовище – сукупність зовнішніх для людини чинників.

Навколишнє природне середовище – сукупність природних і незначно змінених діяльністю людей біотичних і абіотичних природних факторів, що впливають на людину.

Несприятливі геологічні процеси – процеси, які негативно впливають безпосередньо на комфортність проживання людини і біоти чи на необоротні компоненти середовища їх проживання, але не становлять

безпосередньої загрози їх життю і місцю існування (наприклад, заболочування, карст, абразія, суфозія, яружна ерозія і т.д.).

Оцінка якості природних вод – визначення їх придатності для практичних цілей; здійснюється на основі державних стандартів і нормативів; висновок щодо їхньої чистоти або забруднення з деякої конкретної позиції (точки зору деякого водокористувача).

Полютант – речовина, що забруднює навколишнє середовище (зазвичай антропогенного походження).

Ресурсна група критеріїв – дозволяє встановити рівень виснаження екологічно значущих мінеральних, органо-мінеральних, органічних і водних ресурсів літосфери або тимчасову забезпеченість ними людського суспільства.

Сапробність – ступінь насичення води органічними речовинами, які, як правило, не мають токсичної дії.

Система – впорядковані взаємодіючі і взаємозалежні компоненти, що утворюють єдине ціле.

Скидна вода – вода, що відводиться із зрошуваних сільськогосподарських угідь і поливних забудованих територій, а також вода, відведена від ділянок, на яких застосовується гідромеханізація (ДСТУ 3041–95).

Стічна вода – різновид зворотної води, що зібралась у процесі господарсько–побутової та виробничої діяльності чи при відведенні наслідку опадів із забудованих територій (ДСТУ 3041–95).

Техногенез – процес змін природних комплексів під впливом виробничої діяльності людини.

Техносфера – сукупність створених цілеспрямованою діяльністю людини штучних і змінених нею природних об'єктів.

Трофність – ступінь первинної біологічної продуктивності водних екосистем, який визначається вмістом у воді фосфору, азоту і інших біогенних елементів та комплексом гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних і інших факторів.

Хімічне споживання кисню (ХСК) – визначається як кількість хімічного окислювача у перерахунку на кисень, необхідний для окислювання органічних і мінеральних речовин, що містяться в одиниці об'єму води.

Якість атмосфери – сукупність властивостей атмосфери, які визначають ступінь впливу фізичних, хімічних і біологічних факторів на людей, рослинний і тваринний світ, а також на матеріали, конструкції і навколишнє середовище загалом.

Якість води – характеристика складу і властивостей, що визначає придатність води для конкретних видів використання або споживання.

Якість водних об'єктів – сукупність властивостей води, що визначають ступінь впливу фізико-хімічних і біологічних факторів на

людей, рослинний і тваринний світ та навколишнє середовище в цілому.

Якість геологічного середовища – сукупність ресурсних, геодинамічних, геохімічних та геофізичних функцій геологічного середовища (еколого-геологічних особливостей), які відображають умови функціонування.

Якість ґрунтів – сукупність фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтів, що визначають їх безпеку в епідеміологічному та гігієнічному відношеннях.

Якість навколишнього природного середовища – ступінь відповідності природних умов фізіологічним можливостям людини.

Якість середовища – ступінь відповідності природних умов потребам людей або інших живих організмів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сафранов Т.А., Адаменко Я.О., Приходько В.Ю., Шаніна Т.П., Чугай А.В., Колісник А.В. Системний аналіз якості навколишнього середовища. Підручник. Одеса: Екологія, 2015. 244 с.
2. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. Москва: Мысль, 1990. 639 с.
3. Пляцук Д.Л., Бойко В.В. Економічні аспекти оцінки екологічних ризиків у техногенно навантажених регіонах. *Механізм регулювання економіки*. 2012. № 4. С. 222 – 226.
4. Екологічні показники. Електронний ресурс: URL: <https://mepr.gov.ua/content/ekologichni-pokazniki.html> (дата звернення: 10.01.2021).
5. Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Електронний ресурс: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF> (дата звернення: 20.03.2020).
6. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 116 с.
7. Какарека С.В. Оценка суммарного загрязнения атмосферного воздуха. *Институт Природопользования НАН Беларуси*. 2012. С. 14 – 20.
8. Електронний ресурс: URL: https://www3.epa.gov/airnow/40cfrpt58_aqi-reporting.pdf (дата звернення: 21.03.2020).
9. About the Air Quality Health Index. Електронний ресурс: URL: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-quality-health-index/about.html#What_is_AQHI (дата звернення: 21.03.2020).
10. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 9 липня 1997 р. № 201. Електронний ресурс: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97> (дата звернення: 21.11.2016).
11. Електронний ресурс: URL: <https://ref.epa.vic.gov.au/your-environment/air/air-pollution/air-quality-index/calculating-a-station-air-quality-index> (дата звернення: 21.03.2020).
12. Кориневская В.Ю. Оценка воздействия предприятий на воздушный бассейн города с учётом многокомпонентного состава выбросов. *Збірник наукових праць ЛНАУ. Сер.: Технічні науки*. 2008. № 81. С. 306 – 311.

13. Прищепа А.М., Вознюк Н.М., Брежицька О.А., Стецюк Л.М., Ковальчук Н.С., Буднік З.М. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Екологічна безпека регіонів» для студентів спеціальності 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної та заочної форм навчання. Рівне: НУВГП, 2018. 55 с.
14. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 262 с.
15. Игошин Н.И. Проблемы восстановления малых рек и водоёмов. Гидроэкологические аспекты: Учебное пособие. Харьков: Бурун Книга, 2009. 240 с.
16. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П., Яцик А.В., Чернявська А.П. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
17. Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2012. 168 с.
18. Юрасов С.М., Кур'янова С.О., Юрасов М.С. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5 С. 42 – 53.
19. Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днепра на территории Украины / Под ред. Васенко А.Г. и Афанасьева С.А. Киев: Академперіодика, 2002. 355 с.
20. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Методика эколога-водохозяйственной оценки водных объектов. Монография. Москва: ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014. 162 с.
21. Крылов А.В. Введение в мир гидроэкологии. Электронный ресурс: URL: https://bio.1sept.ru/view_article.php?ID=200002905 (дата звернення: 23.03.2020).
22. Яцик А.В. Водогосподарська екологія. Т.3. Київ: Генеза, 2004. 494 с.
23. Кулаков А.А., Шафигуллина А.Ф. Совершенствование водопользования: проблемы и перспективы. *Молочнохозяйственный вестник*. 2016. № 4. С. 52 – 62.
24. Кулаков А.А., Шафигуллина А.Ф. Мониторинг источников техногенной нагрузки на водные экосистемы. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2017. Т. 28. № 6. С. 99 – 105.
25. Петрова М.И., Власов Б.П. Интегральная оценка техногенной нагрузки на озера от локальных источников. *Вестник БГУ. Сер. 2*. 2008. № 3. С. 112 – 115.
26. Виноградов Б.В., Орлов В.А., Снакин В.В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России. *Известия РАН. Сер. География*. 1993. № 5. С. 77 – 79.
27. Инженерно-геологические изыскания для строительства. СП 11-102-

97. Москва, 1997. 40 с.
28. Чорний С.Г. Оцінка якості ґрунтів. Навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 2018. 233 с.
29. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. ДСТУ 4362:2004. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 20 с.
30. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. Яцука І.П., Балюка С.А. Київ, 2013. 104 с.
31. Методика определения ущерба, обусловленного загрязнением и засорением земельных ресурсов в результате нарушения природоохранного законодательства. Киев: Минэкобезопасности, 1998.
32. Соловьев В.И., Кожанова Г.А., Гудзенко Т.В и др. Биоремедиация как основа восстановления нефтезагрязненных почв. *Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов*. Одесса: ОЦНТЭИ, 2001. С. 112 – 119.
33. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 439 с.
34. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. Москва: Недра, 1990. 335 с.
35. Збірник важливих офіційних матеріалів з санітарних і протиепідемічних питань. Видання офіційне. Т.5. Київ: Міністерство охорони здоров'я України, Головне санітарно-епідеміологічне управління, 1996. 100 с.
36. Богданов Н.А., Чуйков Ю.С., Рыбкин В.С. Метод оценки состояния земель по индексу загрязнения почв. *Астраханский Вестник экологического образования*. 2013. № 1 (23). С. 102 – 112.
37. The development and use of soil quality indicators for assessing the role of soil in environmental interactions. Science Report SC030265. Bristol: Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, 2006. 241 p.
38. Теория и методология экологической геологии / Под ред. Трофимова В.Т. Москва: Издательство МГУ, 1997. 368 с.
39. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 248 с.
40. Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище: підручник / За ред. Сафранова Т.А. Одеса: Екологія, 2012. 272 с.
41. Белоусова А.П., Миняева Ю.В., Руденко Е.Э. Методы оценки защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению в регионах со сложной экологической ситуацией. *Экосистемы: экология и динамика*. 2019. Т. 3, № 2. С. С. 100 – 130.
42. Экологические функции литосферы / Под ред. Трофимова В.Т. Москва: Издательство МГУ, 2000. 432 с.

43. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. *Veraenderungen seit 1971 – Umschau* 79. 1979. H. 24. P. 778 – 783.
44. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America. Bulletin*. 1961. Vol. 72. P. 175 – 192.
45. Классификация грунтов дноуглубления Азово-Черноморского бассейна по степени их загрязненности (в пределах Украины). Одесса: ЧЦД, 1991. 17 с.
46. Чертко Н.К., Карпиченко А.А. Техногенные нагрузки на ландшафты Белорусского Полесья. *Вестник БГУ. Сер. 2*. 2013. № 2. С. 62 – 65.
47. Сорокина Л.Ю. Оценка антропогенной трансформированности ландшафтов трансграничного Полесского региона. *Український географічний журнал*. 2013. № 3. С. 25 – 33.
48. Шищенко П.Г. Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании: монография. Киев: Фито-социоцентр, 1999. 284 с.
49. Азаров Б.Ф., Кузнецова С.М., Клейнос Г.А. Количественная оценка техногенной нагрузки объектов коммунального хозяйства на геологическую среду. Электронный ресурс: URL: http://elib.altstu.ru/journals/Files/va2000_1/pages/21_p/211.htm (дата звернення: 10.01.2021).
50. Вахрамеев Г.С. Экологическая геофизика. Иркутск: Улисс, 1995. 312 с.
51. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. Москва: Издательство МГУ, 1995. 272 с.
52. Мыларщиков А.М. Систематизация методов оценки антропогенного воздействия на окружающую среду. *Науковедение*. 2012. № 3. Электронный ресурс: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistematzatsiya-metodov-otsenki-antropogennogo-vozddeystviya-na-okruzhayuschuyu-sredu> (дата звернення: 10.01.2021).
53. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда: учебник. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. 495 с.
54. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования: Учебник. Москва: ИНФРА-М, 2004. 501 с.
55. Белоусова А.П., Руденко Е.Э., Миняева Ю.В. Методика оценки суммарной техногенной нагрузки на окружающую среду в зоне Чернобыльского следа. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2019. № 2 (78). С. 59 – 67.
56. Гамм Т.А., Калие А.Ж. Дифференциация территории по экологическим показателям техногенной нагрузки. *Вестник ОГУ*. 2004. № 9. С. 98 – 101.

- 57.Белик И.С., Никулина Н.Л. Методические подходы к оценке экологической безопасности региона. *Вестник УГТУ-УПИ*. 2006. № 1 (72). С. 100 – 106.
- 58.Гупало С.О., Данильченко О.С. Оцінка техногенного навантаження на регіональні ландшафтні структури Сумської області. *Збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції «Треті Сумські наукові географічні читання»*. Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка, Сумський відділ Українського географічного товариства, 2018. С. 48 – 52.
- 59.Іванюта С.П. Наукові основи оцінки ризиків і загроз екологічній безпеці регіонів України: дис. на здобуття наукового ступеня д-ра т. наук: 21.06.01 / НТУ України «Київський політехнічний інститут». Київ. 2017. 323 с.
- 60.Радевич Т.В., Ночовна Ю.О., Самбурська Н.І. Моделювання інтегрального показника загального рівня екологічної безпеки підприємства. *Економічний аналіз*. 2017. Т. 27. № 2. С, 182 – 191.
- 61.Комплексное определение антропогенной нагрузки на водные объекты, почву, атмосферный воздух в районах селитебного освоения. Методические рекомендации. Электронный ресурс: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071315> (дата звернення: 10.01.2021).
- 62.Буштуева К.А. Выбор зон наблюдения в крупных промышленных городах для выявления атмосферных загрязнений на здоровье населения. *Гигиена и санитария*, 1985. № 1. С.4 – 6.
- 63.Хлобистов Є.В., Жарова Л.В., Кобзар О.М. Екологічна безпека стратегічного потенціалу динаміки розвитку продуктивних сил регіонів України. *Механізм регулювання економіки*. 2008. № 3. Т. 2. С. 206 – 214.
- 64.Теліженко О. М., Древаль О. Ю., Павленко О. О., Хлобистов Є.В., Жарова Л.В. Визначення інтегральних показників якості атмосферного повітря на основі розрахунку приведеного навантаження на комплекс реципієнтів для окремих квадратів сітки ЕМЕР. *Вісник СумДУ. Серія: Економіка*. 2008. № 1. С. 58 – 67.
- 65.Копылов И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий. Электронный ресурс: URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5214> (дата звернення: 23.01.2021).
- 66.Куролап С.А., Яковенко Н.В., Федотов В.И., Михно В.Б., Костылева Л.Н. Геоэкологическая диагностика субъектов Центрального Черноземья. *Юг России: экология, развитие*. 2019. Т. 14. № 1. С. 67 – 80.
- 67.Караєва Н.В., Варава І.А. Еколого-економічна оптимізація виробництва: методи та засоби кластерного аналізу. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 36 с.

- 68.Балуєва О.В., Чинкуляк Н.М. Кластерний аналіз територій України за показниками антропогенних навантажень на навколишнє природне середовище. *Ефективна економіка*. 2013. № 12. Електронний ресурс: URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2574> (дата звернення: 14.12.2019).
- 69.Кавун С.В., Ридаш О.С., Зима О.Г. Використання кластерного аналізу для вирішення задач оптимізації платежів за використання природних ресурсів на підприємствах в галузі будівельних матеріалів. *Системи обробки інформації*. 2010. Вип. 5 (86). С. 216 – 219.
- 70.Адаменко О.М., Рудько Г.І. Екологічна геологія. Київ: Манускрипт, 1998. 348 с.
- 71.Електронний ресурс: URL: <http://ecolog.at.ua> (дата звернення: 2.05.2017).
- 72.Чугай А.В. Науково-методологічні засади комплексної оцінки техногенного навантаження на поліфункціональні території (на прикладі Північно-Західного Причорномор'я): дис. на здобуття наукового ступеня д-ра т. наук: 21.06.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ. 2020. 368 с.

ДОДАТКИ

Гігієнічні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць

А. Значення встановлених коефіцієнтів комбінованої дії хімічних речовин (*Kкд*).

І. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект сумації біологічної дії з *Kкд* рівним 1,0 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1,0$$

1. Ацетон, акролеїн, фталевий ангідрид.
2. Ацетон і фенол.
3. Ацетон і ацетофенон.
4. Ацетон, фурфурол, формальдегід і фенол.
5. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію та оксидів марганцю.
6. Ацетальдегід і вінілацетат.
7. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і сірчистий ангідрид.
8. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і триоксиду хрому.
9. Азоту діоксид, гексен, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю.
10. Акрилова і метакрилова кислоти.
11. Акрилова і метакрилова кислоти, бутилакрилат, бутилметакрилат, метилакрилат, метилметакрилат.
12. Ацетон, трикрезол, фенол.
13. Аміак, сірководень.
14. Аміак, сірководень, формальдегід.
15. Аміак, формальдегід.
16. Азоту діоксид і оксид, мазутна зола, сірки діоксид.
17. Бензол і ацетофенон.
18. Валеріанова, капронова і масляна кислоти.
19. Вольфрамний і сірчистий ангідриди.
20. Гексахлоран і фазолон.
21. 2,3-Дихлор-1,4-нафтахінон і 1,4-нафтахінон.
22. 1,2-Діхлорпропан, 1,2,3-трихлорпропан, і тетрахлоретилен.
23. Ізопропілбензол і гідроперекис ізопропілбензолу.
24. Ізобутенілкарбінол і диметилвінілкарбінол.
25. Метилдигідропіран і метилентетрагідропіран.
26. Миш'яковистий ангідрид і свинцю ацетат.
27. Миш'яковистий ангідрид і германій.
28. Моно-, ді- і пропіламіни.
29. Озон, діоксид азоту, формальдегід.

Продовження додатку А

30. Оксид вуглецю, діоксид азоту, формальдегід, гексан.
31. Оксид вуглецю і пил цементного виробництва.
32. Оцтова кислота і оцтовий ангідрид.
33. Пропіонова кислота і пропіоновий альдегід.
34. Свинцю оксид і сірки діоксид.
35. Сірководень і формальдегід.
36. Сірчистий ангідрид і аерозоль сірчаної кислоти.
37. Сірчистий ангідрид і нікель металевий.
38. Сірчистий ангідрид і сірководень.
39. Сірчистий ангідрид і діоксид азоту.
40. Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, фенол і пил конверторного виробництва.
41. Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, діоксид азоту і фенол.
42. Сірчистий ангідрид і фенол.
43. Сірчистий ангідрид і фтористий водень.
44. Сірчаний і сірчистий ангідриди, аміак і оксиди азоту.
45. Сірководень і диніл.
46. Сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна і азотна).
47. Сірчаноокислі мідь, кобальт, нікель і сірчистий ангідрид.
48. Фенол і ацетофенон.
49. Фурфурол, метиловий і етиловий спирти.
50. Циклогексан і бензол.
51. Етилен, пропілен, бутилен і амілен.

II. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект неповної сумачії біологічної дії

а) з K_{kd} рівним 1,6 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1,6$$

52. Вольфрамат натрію, парамолібдат амонію, свинцю ацетат;
б) з K_{kd} рівним 2,0 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 2,0$$

53. Вольфрамат натрію, миш'яковистий ангідрид, парамолібдат амонію, свинцю ацетат;

в) з K_{kd} рівним 2,5 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 2,5$$

54. Вольфрамат натрію, германію діоксид, миш'яковистий ангідрид, парамолібдат амонію, свинцю ацетат.

III. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект посилення (потенціювання) біологічної дії з $K_{кд}$ рівним 0,8 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 0,8$$

55. Бутилакрилат і метилакрилат;

56. Фтористий водень і фтористі солі.

IV. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект незалежної біологічної дії (зберігається $ГДК$ кожної речовини):

57. Гексиловий, октиловий спирти ($K_{кд} = 2$).

58. Сірки діоксид, цинку оксид ($K_{кд} = 2$).

Значення коефіцієнту a для визначення ГДК_{рік}

Речовини	Коефіцієнт a
Аміак, оксид азоту і діоксид азоту, бензол, бенз(а)пірен, оксид марганцю, озон, сірки діоксид, сірковуглець, синтетичні жирні кислоти, фенол, формальдегід, хлоропрен	1,0
Трихлоретилен	0,4
Аміни, анілін, завислі речовини (пил), оксид вуглецю, хлор	0,34
Сажа, сірчана кислота, ангідрид фосфорний, фториди	0,3
Ацетальдегід, ацетон, діетиламін, толуол, фтористий водень, хлористий водень, етилбензол	0,2
Акролеїн	0,1

Додаток В

Співвідношення між різницею рівнів звуку (фактичний - припустимий) і дозами шуму

Різниця між фактичним рівнем звуку і ГДР	Доза шуму при фактичному рівні звуку		
	≤ 40 дБа	41 – 80 дБа	> 81 дБа
-10	0,5	0,43	0,1
-9	0,55	0,46	0,13
-8	0,6	0,52	0,16
-7	0,65	0,58	0,2
-6	0,7	0,64	0,25
-5	0,75	0,7	0,32
-4	0,8	0,76	0,4
-3	0,85	0,82	0,5
-2	0,9	0,88	0,63
-1	0,95	0,94	0,8
0	1	1	1
1	1,07	1,12	1,25
2	1,15	1,26	1,6
3	1,23	1,41	2
4	1,32	1,59	2,56
5	1,4	1,78	3,16
6	1,52	2,06	4
7	1,62	2,24	5
8	1,74	2,51	6,3
9	1,87	2,82	8
10	2	3,31	10
11	2,15	3,8	13
12	2,3	4,23	16
13	2,46	4,72	21,8
14	2,65	5,21	27
15	2,83	5,62	31,6
16	3,2	7,26	40
17	3,4	7,94	50
18	3,6	8,63	63
19	3,8	9,31	80
20	4	10	100
21	4,4	12,6	190
22	4,8	14,76	280
23	5,2	16,92	370
24	5,6	19,08	460
25	6	21,24	550
26	6,4	23,4	640

Продовження додатку В

Різниця між фактичним рівнем звуку і ГДР	Доза шуму при фактичному рівні звуку		
	≤ 40 дБа	41 – 80 дБа	> 81 дБа
27	6,8	25,56	730
28	7,2	27,72	820
29	7,6	28,88	910
30	8	31,6	1000
31	8,8	38,44	1900
32	9,6	45,28	2800
33	10,4	52,12	3700
34	11,2	58,96	4600
35	12	65,8	5500
36	12,8	72,94	6400
37	13,6	79,48	7300
38	14,4	86,32	8200
39	15,2	93,16	9100
40	16	100	10000

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Адаменко О.М. 87
Акімова Т.А. 69
Акимова Т.В. 16
Балуєва О.В. 86
Белоусова А.П. 70
Богданов Н.О. 41
Виноградов В.Б. 59
Волков А.І. 86
Гольдберг В.М. 44
Жарова Л.В. 81
Іванюта С.П. 74
Інхабер Г. 11
Кобзар О.М. 81
Копилов І.С. 83
Лесь А.В. 86
Миняева Ю.В. 70
Мосейкин Ю.М. 16
Ночовна Ю.О. 75
Приймак А.В. 12
Радевич Т.В. 75
Ращенко А.В. 86
Руденко Е.Э. 70
Рудько Г.І. 87
Рыбкин В.С. 41
Самбурська Н.І. 75
Хлобистов Є.В. 81
Чинкуляк Н.М. 86
Чуйков Ю.С. 41
Шищенко П.Г. 54

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Група

- геодинамічна 57
- геофізична 57, 61
- геохімічна 57, 61
- ресурсна 57

Екологічний район 72

Ефективність

- водовідведення 30, 31
- водопостачання 31
- водоспоживання 30

Зона

- екологічного лиха 34, 35
- екологічного ризику 34, 35
- екологічної кризи 34, 35
- екологічної норми 34, 35

Індекс

- *АТМО* 13
- Баха 22
- екологічний якості вод 21
- ергодемографічний 68
- забруднення атмосфери 10, 11
- забруднення води 19
- комбінаторний забруднення 25, 27, 28
- забруднення ґрунтів 41
- забруднення повітря *API* 14
- забруднення повітря *ІЗП* 16
- здоров'я за якістю атмосферного повітря *AQHI* 13
- небезпеки забруднення 12
- сапробності 29
- стійкості екосистем 70
- техногенний 33
- техногенного навантаження на водні об'єкти 32
- узагальнений стану вод 22
- якості атмосферного повітря *AQI* 12, 16
- якості атмосферного повітря *BELATMO* 14
- якості води *WQI* 22

Індикатор

- біологічної групи 42
- деструктивної дії 17, 33, 68
- конструктивної дії 17, 33, 68

- фізичної групи 43
 - хімічної групи 42
- Категорія
- небезпеки 17
 - стійкості компонентів геологічного середовища 63
 - якості 22
 - якості атмосфери (повітря) 14, 16
 - якості ґрунтів 41
- Клас
- забруднення атмосферного повітря 10, 11
 - якості вод 20, 24, 28, 29
- Кластерний аналіз 85, 86
- Комплексний
- індекс забруднення атмосфери 10
 - індекс I_5 10
 - коефіцієнт ефективності водокористування 31
 - показник відновлення 72
 - показник забруднення 41
 - показник оцінки екологічної безпеки підприємств 75, 78
 - показник рівня техногенного навантаження 75
 - показник техногенного впливу 71, 72
- Коефіцієнт
- абсолютної антропогенної напруженості 67
 - антропогенного тиску 70
 - відносної антропогенної напруженості 67
 - відносної протяжності автошляхів 66
 - інтегральний впливу еколого-економічних факторів 76
 - інтегральний впливу економічних факторів 76
 - інтегральний екологічної шкоди 76
 - концентрації 40
 - небезпеки підприємства 17
 - небезпеки території 72
 - природної захищеності 67, 68
 - розподілу лінійного техногенного навантаження 55, 56
 - розподілу площинного техногенного навантаження 55, 56
 - стійкості 63
 - сумарного впливу 56
 - техногенного геохімічного навантаження 40
 - техногенного навантаження 75
- Метод
- ГДК 9
 - графічний 19
 - зіставлення 18

- інтегральної оцінки 9
- оцінки аграрного навантаження 52
- оцінки якості вод 18
- порівняння 9

Методика

- інтегральної оцінки навантаження на озера 32
- оцінки якості атмосферного повітря 10

Модуль

- програмний «ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ» 88, 89
- техногенного навантаження 87, 89
- техногенного навантаження на водні об'єкти 87, 91
- техногенного навантаження не геологічне середовище 87, 92
- техногенного навантаження на повітряний басейн 87, 90

Навантаження

- гранично допустиме техногенне 69
- комплексне антропогенне 81
- масове техногенне 73
- техногенне 8, 17, 30, 31, 33, 51, 53, 55, 64, 66, 70, 72, 86
- транспортне 66
- шумове 79

Об'єкт критичної транспортної інфраструктури 74, 75

Показник 7

- біологічний 42
- впливу 7
- гранично допустимого забруднення 15
- екозбитковості виробництва 77
- екологічні 7
- Ерісмана 24
- забруднення 15
- забруднення атмосфери $K_{атм}$ 78
- забруднення ґрунту $K_{грунт}$ 81
- інтегральний бальний екологічного стану 81
- інтегральний стану атмосферного повітря 82
- інтегральний стану водних ресурсів 82
- інтегральний стану земельних ресурсів 82
- комплексний 27
- «корисності» 80
- навантаження A_i 52
- питомої кратності перевищення $ГДК$ 31
- реагування 7
- стану 7, 18, 33
- сумарний забруднення 40, 41
- сумарний забруднення атмосферного повітря 12

- сумарний навантаження 40
- сумарного випадіння пилу і мінеральних речовин 53, 54
- сумарного хімічного забруднення води 80
- схильності до забруднення 45
- техногенного забруднення 50
- техногенного навантаження 74
- тиску 7
- ультрафіолетовий 80
- фізичний 42
- хімічний 42
- хімічного забруднення 24
- шкідливості 35
- якості 28, 37

Рейтинг

- медико-екологічної напруженості 85
- небезпеки впливу 71

Рівень

- екологічної небезпеки 73
- забруднення 15, 26, 29, 35, 40, 41
- природно-антропогенних порушень 34
- техногенного навантаження 17, 32, 74, 75
- якості 25

Стан

- геоекологічний 83
- екологічний 29, 30, 51
- еколого-господарський 68
- забрудненості води 28
- якості води 24

Ступінь

- забруднення ґрунтів 35
- забруднення донних відкладів 50
- забруднення підземних вод 50, 51
- небезпечності 15
- органічного забруднення 29

Техногенез 7

Техногенне число 33

Техногенний вплив 7, 55, 56

- опосередкований 7
- прямий 7

Техногенний спектр 32

Техноємність 69, 72, 73

Навчальне видання

**Чугай Ангеліна Володимирівна
Сафранов Тамерлан Абісалович**

МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Навчальний посібник

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макета

Підписано до друку 12.07.2021. Формат 60x90/16. Папір офсетний.

Гарн. «Times». Друк цифровий. Ум. друк. арк. 13.

Наклад 150 прим.

Видавець Букаєв Вадим Вікторович

вул. Пантелеймонівська 34, м. Одеса, 65012

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2783 від 02.03.2007 р.

Тел. 0949464393, 0487431393, 0941259868, email – 7431393@gmail.com