

УДК 504.55.054:622

*П.І. Копач, Т.Т. Данько***КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ
БЕЗПЕКИ ГІРНИЧОВИДОБУВНИХ
РАЙОНІВ***Інститут проблем природокористування та екології НАН України, Дніпропетровськ*

Розроблено методичні підходи до оцінки екологічної безпеки територій гірничодобувних районів, які базуються на встановленні комплексного показника деградації компонентів природного середовища, що дозволить оцінювати можливості подальшого напрямку розвитку гірничодобувного підприємства.

Разработаны методические подходы к оценке экологической безопасности территорий горнодобывающих районов, базирующиеся на определении комплексного показателя деградации компонентов природной среды, что позволит оценивать возможности дальнейшего направления развития горнодобывающего предприятия.

Постановка проблеми

Протягом останніх десятиліть почало широко вживатися поняття «екологічна криза». Під цим поняттям розуміють явища порушення, які спостерігаються в природному середовищі людини, порушення стабільності процесів, які характеризують як ландшафтну сферу в цілому, так і окремі території.

Поняття «кризи» пов'язують з уявленнями щодо певного механізму, який підтримує систему в стабільному стані певний час, а далі під дією техногенного впливу перестає нормально функціонувати та замінюється іншим, відповідальним за якісно нові процеси.

Питання кількісної оцінки екологічної безпеки територій донині не розглядалися в науковій літературі. В цій роботі наведено підходи до визначення кількісної оцінки екологічної безпеки на прикладі гірничодобувних районів.

Нині існують дві протилежні концепції визначення проблеми екологічної безпеки. Загальноприйняте визначення екологічної безпеки базується на антропоцентричних засадах, тобто поняття екологічної безпеки розглядається з позицій безпеки людини.

Наше бачення проблеми екологічної безпеки полягає у тому, що безпечним має бути природне середовище, в якому людина буде захищеною, а її життя безпечним. В цьому випадку *екологічна безпека* - це сукупність станів, дій та процесів, які забезпечують здатність природної (екологічної) системи до відновлення внутрішніх властивостей і структур після будь-якого антропогенного впливу, в результаті якого змінилися ці властивості та структури. Тому основним (базовим) показником як стану природного середовища, так і екологічної безпеки є здатність природно-техногенної системи до самовідновлення [1].

Стан проблеми екологічної безпеки у гірничодобувній галузі

Аналізуючи техногенний вплив технологій природокористування різних галузей народного господарства, доведено, що наймасштабнішим в просторі і найтривалішим у часі є вплив технологій гірничодобувної галузі, який позначається практично на всіх екосистемах у радіусі десятків і навіть сотень кілометрів.

Гірничодобувна (як піонерна галузь в освоєнні мінерально-сировинних ресурсів) і наступні за нею ресурсоперетворюючі (металургійна, хімічна, будівельних матеріалів)

промисловості, розглядаються разом з родовищем корисних копалин як складові частини єдиного природно-гірничодобувного комплексу. Регіони, у яких функціонують природно-гірничодобувні комплекси, іноді вважаються регіонами особливого (режимного) природокористування [2].

Найбільш вразливими в цій ситуації виявляються геологічне середовище, гідросфера і ґрунти. Тому що всі зміни під впливом підприємств гірничодобувного комплексу є наслідком перебудови основних процесів (геомеханічних, гідрологічних, фізичних, хімічних, біологічних і т.д.), а наслідки їх-

ньої реалізації надзвичайно масштабні й різнопланові.

Встановлено, що в реальних умовах таку дестабілізацію компонентів природного середовища спричиняють техногенні фактори, які є наслідком реалізації технологічних процесів при видобутку й переробці корисних копалин [3].

Доведено, що зазначені фактори можуть діяти як прямо, так і опосередковано, але завжди комплексно, а тому ефекти від них складні й важкопередбачувані. У результаті такого техногенеза прилеглих до гірничодобувних підприємств територій доко-

рінно змінюється рівновага гідрогеофільтраційних, гідрогеохімічних та інженерно-геологічних процесів на площах, які зазвичай перевищують земельні й гірничі відводи.

Більше того, стає реальною ймовірність втрати природних ландшафтів, де повністю руйнуються створювані протягом тисячоліть природні комплекси [4].

Формована в такий спосіб екологічна ситуація та ймовірність її подальшого погіршення дають підстави для пошуку теоретичного підходу до кількісної оцінки екологічної безпеки гірничодобувних районів.

Граничні рівні техногенного впливу на природні системи та процеси самовідновлення

За ступенем порушеності природного середовища людською діяльністю стан довкілля характеризується як: *природний* - не змінений безпосередньою господарською діяльністю людини (зазнає лише непрямий слабкий вплив від глобальних антропогенних змін), при цьому швидкість відновних процесів набагато перевищує темпи порушень, біомаса близька до максимуму, біологічна продуктивність - до мінімуму; *рівноважний* - швидкість відновних процесів є вищою або дорівнює темпу антропогенних порушень, біомаса знижена, біологічна продуктивність різко підвищена; *кризовий* - швидкість антропогенних порушень перевищує темп самовідновлення природи, але ще не відбувається корінних змін природних систем, біомаса різко знижена, біологічна продуктивність максимальна, але на грані зриву; *критичний* - оборотна заміна раніш існуючих екологічних систем під антропогенним тиском на менш продуктивні (часткове опустинювання), біомаса мала, і, як правило, знижується, біологічна продуктивність різко

знижується; *катастрофічний* - важкооборотний процес закріплення малопродуктивних екосистем (надзвичайне опустинювання), біомаса і біопродуктивність мінімальні; *коллапса* - необоротна втрата біологічної продуктивності, біомаса наближається до нуля [5].

Між компонентами природних екосистем та техно- і соціосферою безперервно відбувається обмін речовиною та енергією. Цей обмін має циклічний характер різного ступеню обмеження, який супроводжується трансформацією речовини під дією фізичних, хімічних і біологічних факторів.

У разі перевищення зовнішніми навантаженнями можливостей до саморегуляції природних екосистем можливе її руйнування. Самовідновлення природних екосистем є наслідком здатності до саморегуляції, тобто здатності природної системи до відновлення внутрішніх властивостей і структур після будь-якого природного чи антропогенного впливу, що змінило ці властивості та структури [5].

Техноємність природного середовища

Концепцію стійкості природних комплексів характеризує їхня властивість до техногенного навантаження, тобто яке техногенне навантаження може витримати і переносити протягом тривалого часу дана природна система без серйозних порушень її структурно-функціональних характеристик.

Стійкість природних систем до техногенних впливів можна охарактеризувати як техноємність природного середовища. Цю властивість ще називають екологічною ємністю і пов'язують її граничними критеріями –

критичним або гранично допустимим екологічним навантаженням [6].

Слід зазначити, що виконання екологічної оцінки гірничодобувних районів неможливо здійснити без ґрунтового аналізу техногенних впливів та визначення реакції компонентів природного середовища суміжних територій на ці впливи [7].

Якщо визначення параметрів техногенного впливу, виходячи з сучасного розвитку гірничої науки методично відпрацьоване, то встановлення екологічних наслідків функці-

онування гірничодобувних підприємств становить значну, і ще далеку від вирішення, проблему [3]. Деякі наші підходи до вирішення цієї проблеми наведено нижче.

Будь-яке кількісне визначення допустимого впливу або екологічної ємності території неможливо виконати без встановлення хоча б трьох показників, що характеризують нормальний (дотехногенний), сучасний і граничний стани.

Дотехногенний (еталонний або нормальний) стан території визначається ретроспективним аналізом стану компонентів за тривалий відрізок часу, при цьому бажано встановлення тенденції зміни (тренда) показників. Існуючий стан встановлюється за допомогою моніторингу навколишнього середовища.

Для характеристики граничного або критичного стану наведено рисунок, де показані можливі варіації стану довкілля.



Рисунок – Загальна схема станів природного середовища при антропогенному впливі

Нехай в момент $T = T_0$ на компоненту довкілля почав діяти деякий техногенний вплив, що переводить природну систему з існуючого стану у гранично допустимий, він визначається як допустиме навантаження або допустимий вплив. Критерії допустимих навантажень повинні враховувати, у першу чергу, антропогенні впливи, за яких не повинно виникати небажаних наслідків, змін в організмах, біоценозах людей, які живуть на території, та абіотичних природних системах. На рисунку наведено два граничних рівні впливу на природні системи: рівень гранично допустимого впливу (лінія 1-2-2')

на рисунку), при якому можливе відновлення природного середовища; рівень критичного впливу (лінія 1-3-3'), починаючи з якого може мати місце загибель або незворотна деградація природної системи чи її компонентів.

Узагальнено техноємність природного середовища характеризує можливу область природокористування між існуючим і граничним станом природного середовища. На рисунку заштрихована зона техноємності природного середовища обумовлює раціональну область застосування відкритих гірничих робіт.

Територіальний аспект проблеми

Вище викладене характеризує якісний аспект проблеми. Для урахування територіального аспекту (неоднорідності техногенного впливу на територію) при виконанні екологічної оцінки відкритої розробки родовищ запропонована концепція «природно-технологічної системи». Природно-технологічна система, яка сформована в результаті гірничовидобувної діяльності – це система, яка включає сукупність процесів, що здійснюються при видобутку корисної копалини і пов'язаних з ними природних процесів в компонентах навколи-

шнього середовища гірничодобувного району. Виділення з наявної об'єктивної реальності природно-технологічної системи здійснюється в залежності від мети і задач дослідження. Системоутворюючим фактором цієї природно-технологічної системи є вплив гірничодобувних технологій на навколишнє середовище. Залежно від гірничовидобувних технологій та природних особливостей суміжних територій, в межах природно-технологічної системи можливо виділити наступні три зони: *перетворення, взаємодії та впливу*.

Зона перетворення є територією, на якій процес вилучення та обміну ресурсами між технологічними і природними компонентами викликає їхні корінні зміни, які значно перевищують гранично допустимі значення, у результаті чого природні компоненти території не можуть самовідновитися і вимагають проведення відповідних реабілітаційних заходів. На цій території переважають економічні цілі. До зони перетворення відносяться ділянки, які відчужуються під технологічні об'єкти гірничого виробництва (кар'єри, відвали, шламосховища, промплощадки та інше).

Зона взаємодії представляє території, на яких процеси обміну речовиною чи енергією між технологічними та природними компонентами проходять таким чином, що у випадку припинення технологічного впливу, природні компоненти можуть за деякий період часу са-

мовідновитися. Тут пріоритети розподілені між забезпеченням необмеженого в часі збереження якості природного середовища і завданнями соціального та економічного розвитку

Зона контролю репрезентує ті території природно-технологічної системи, на яких, в результаті дії технологічного процесу, в природних компонентах появляється незначна кількість нових речовин або енергії, але які не призводять до негативних якісних змін природного середовища. На цих територіях задачі збереження довкілля домінують над будь-якими іншими цілями. До зони контролю слід віднести території, для яких існує вірогідність їхнього забруднення (в межах ГДК) газопиловими викидами при вибухових, відвальних роботах, транспортуванні порід розкриття та руди, забруднення поверхневих водотоків скидами кар'єрного водовідливу та інше.

Методичні підходи визначення екологічної безпеки природно-технологічних систем

Суть методичних підходів визначення просторових границь природно-технологічних систем зводиться до прогнозування (або інструментального встановлення) зон перетворення, впливу та взаємодії за кожним із природних компонентів довкілля та об'єднання цих їхніх просторових границь в єдину територіальну структуру. Найбільшою трудностю встановлення меж природно-технологічної системи (виділення зон перетворення, взаємодії та впливу) є чисельне визначення параметрів гранично допустимого і критичного станів для кожного з природних компонентів конкретної території.

Для біологічних систем за «червону ризик» – критичний рівень впливу - пропонується прийняти, наприклад, значення LK_{50} – вплив, який викликає летальний результат у 50% популяції.

Нормування впливу на людину здійснюється показниками гранично допустимих концентрацій санітарно-гігієнічних норм. Незважаючи на критику цих нормативів, вони працюють, а тому за граничний вплив приймаємо $ГДК_{сд}$ (середньодобове). Для характеристики критичного рівня впливу можна було б прийняти існуючі нормативи гранично допустимих концентрацій для робочої зони ($ГДК_{р,з}$).

Проблема встановлення граничних і критичних впливів є не менш актуальною і для абіотичних природних систем. Граничний

вплив для цих систем також визначається із умови недопущення виникнення кризового стану компонента.

Для оцінки стану абіотичних природних систем необхідно виходити з того, якщо концентрація шкідливої речовини в будь-якій із природних систем нижче гранично допустимої, то це ще не означає, що при тій же кількості речовини в іншому середовищі його концентрація не буде перевищувати ГДК. Норми ГДК встановлено без урахування вторинних природних процесів – міграції, накопичення та трансформації забруднювачів, які відбуваються в підземних водах, ґрунті чи рослинності. Нерідко визначальною є не первинна концентрація шкідливих речовин у будь-якому середовищі, а вторинне забруднення, їх накопичення в критичних (лімітуючих) ланках екосистеми.

Граничні та критичні значення для підземних водоносних горизонтів рекомендується встановлювати залежно від виду впливу. Наприклад при їхньому забрудненні хімічними речовинами гранично допустимий вплив визначається параметром $ГДК/Т_{в,о}$, де $ГДК$ – гранично допустима концентрація забруднювача у водах питного призначення; $Т_{в,о}$ – тривалість водообміну (водозаміщення) для даного водоносного горизонту (змінюється від десятків до сотень років). Критичним показником впливу буде такий, при якому концентрації забруднювача складуть $ГДК$.

При відкачуванні підземних вод гранично допустимим впливом буде витрата, яка дорівнює можливому обсягу живлення водоносного горизонту без зниження гідродинамічного напору всередині пласта. Критичним впливом буде обсяг води, що відкачується, при якому зникає гідродинамічний тиск у пластових водах і відбувається просадка покрівлі водоносного горизонту.

Гранично допустимий вплив на надра запропоновано встановлювати за показником інтенсивності експлуатації надр, який задається у вигляді відношення $Z/n \cdot T_n$, де Z – сумарні запаси мінерального ресурсу в регіоні, T_n – термін активної діяльності одного людського покоління ($T_n = 25$ років); n – кількість поколінь, з розрахунку потреб яких необхідно регулювати інтенсивність відпрацювання родовищ. Для встановлення гранично допустимого впливу приймаємо $n = 5$, для критичного впливу $n = 1$.

Для оцінки ступеню пошкодження i -го компоненту природного середовища застосовується показник екологічного стану D_i .

$$D_i = \frac{H_{\phi}^i - K_p^i}{K_p^i}, \quad (1)$$

де H_{ϕ}^i, K_p^i – відповідно показники фактичного і критичного станів i -го компоненту природного середовища.

Показник деградації екологічного стану D_i змінюється в інтервалі від 0 до 10 і більше, тому його доцільно привести до існуючої уніфікованої вимірної шкали, за якою дані нормуються в інтервалі (0;1).

Ордината розподілена у відповідності з числами Фібоначі на 5 зон:

- еталонному стану відповідає 1,0-0,8;
- сприятливому стану відповідає 0,79-0,63;
- задовільному стану відповідає 0,62-0,37;
- загрозливому стану відповідає 0,36-0,2;
- критичному стану відповідає 0,2-0,0.

Процедура приведення показника екологічного стану D_i до уніфікованої шкали оцінок здійснюється з використанням відповідної нормувальної функції $f(D_i)$:

$$S_i = f(D_i) = a \cdot \ln(D_i) + c, \quad (2)$$

де S_i – уніфікований показник деградації екологічного стану; a, c – коефіцієнти нормувальної функції.

На наступному етапі оцінки кожен з по-

казників екологічного стану i -го компоненту природного середовища, виражений в значеннях уніфікованої шкали оцінок S_i приводиться до умовного показника екологічного стану території через вагові коефіцієнти A_i .

Чисельні значення коефіцієнтів ваги визначаються шляхом виділення з природного середовища та відповідного врахування лімітуючої абіотичної його складової, тобто такої складової «сфери», яка відіграє вирішальну роль у забезпеченні стабільності, стійкості всієї біогеосистеми в цілому.

Виявлення лімітуючої компоненти середовища може базуватися на умові максимізації користі (ефективності) вкладення ресурсів у природоохоронні заходи. Лімітуючим може бути важливе і найбільш уражене середовище. Для виявлення лімітуючого фактору середовища важливим є, наприклад, його захищеність, час «провітрювання», водообміну, наявність ресурсів, які притаманні даному середовищу тощо.

Після виявлення лімітуючого середовища здійснюється ранжирування середовищ за їх роллю в забезпеченні стійкості біогеоценозів регіону.

Інтегральний показник деградації екологічного стану території визначається за формулою:

$$P_{ec} = S_a \cdot k_a + S_{\phi} \cdot k_{\phi} + S_3 \cdot k_3 + S_n \cdot k_n + S_{\sigma} \cdot k_{\sigma} + S_n \cdot k_n, \quad (3)$$

де $S_a, S_{\phi}, S_3, S_n, S_{\sigma}, S_n$ – уніфікований показник деградації екологічного стану атмосфери, поверхневих вод, ґрунтів, підземних вод, біосфери, надр; $k_a, k_{\phi}, k_3, k_n, k_{\sigma}, k_n$ – відповідні вагові коефіцієнти, які обумовлені відносною перевагою і встановленою важливістю для забезпечення стабільності функціонування компонентів природного середовища, причому для вагових коефіцієнтів повинна виконуватися умова:

$$\sum_{i=1}^6 k_i = k_a + k_{\phi} + k_n + k_3 + k_n = 1. \quad (4)$$

Підставляючи в (3) значення (2) та (1) формула визначення інтегрального показника деградації екологічного стану території буде мати вигляд:

$$P_{ec} = \sum_{i=1}^6 \left[a_i \ln \left(1 - \frac{H_{\phi}^i - K_p^i}{K_p^i} \right) + C_i \right] k_i. \quad (5)$$

Висновки

Наведений підхід, який базується на порівнянні фактичного стану кожного з компонентів довкілля з їх критичним станом, може слугувати умовою для визначення резерву техноємності середовища. Результати проведених досліджень доцільно використати для розробки нормативних екологічних

показників техногенного навантаження на компоненти природного середовища та оцінки можливості подальшого нарощування обсягів гірничовидобувної діяльності, напрямку реструктуризації виробництва або взагалі припинення видобутку мінерально-сировинних ресурсів.

Перелік посилань

1. Шапарь А.Г., Копач П.И. Минеральные ресурсы: их исчерпаемость, целесообразность и условия ввода в эксплуатации // Экотехнология и ресурсосбережение. - К., 2001. - № 2. - С. 11-17.
2. Копач П.И. Методология экологической оценки технологий при разработке месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. - МГГУ, 2006. - № 6. - С. 211-217.
3. Экосистемы в критических состояниях. Отв. Ред. Ю.Г. Пузаченко. – Москва: Наука, 1989. - 157 с.
4. Долгова Т.И. Комплексная оценка состояния почв и последствий влияния на них горнодобывающих предприятий // Экологія і природокористування. – Дніпропетровськ, 2005. - № 8. - С. 187-193.
5. Реймерс М.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. - М.: Мысль, 1990. - 637 с.
6. Израэль Ю.А. Допустимая антропогенная нагрузка на окружающую среду // Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды II Советско-американского симпозиума. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - С. 12-19.
7. Голубець М.А. Екосистемологія. - Львів: ПОЛЛІ, 2000. - 316 с.

P.I. Kopach, T.T. Dan'ko

QUANTITATIVE ESTIMATION OF ECOLOGICAL SAFETY MINING DISTRICTS

*Institute of problems on Nature Management & Ecology of National Academy of Sciences
of Ukraine, Dniepropetrovsk*

Methodical approaches are developed to the estimation of ecological safety of territories of mining districts, which are based on establishment of complex index of degradation of components of natural environment which will allow to estimate possibilities of subsequent direction of development of mining enterprise.

*Надійшла до редколегії 12 серпня 2009 р.
Рекомендовано членом редколегії докт.техн. наук, професором Т.І. Долговою*