

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 55; 504

М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,
І. Малахов, канд. техн. наук

ТЕХНОГЕННІ ФОРМИ РЕЛЬЄФУ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ І ЗБИТКІВ ГІРНИЧОВИДОБУВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У КРИВОРІЗЬКОМУ ЗАЛІЗОРУДНОМУ БАСЕЙНІ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)**Розглянуті техногенні об'єкти, що утворилися при видобутку і переробці залізних руд Криворізького басейну та ризики, які вони створюють для населення.**Technogenic objects, which appeared as results of iron-ores mining and processing in the Krivoy Rog basin, and hazards, which they create for a population, are considered.*

Постановка проблеми. Експлуатація родовищ корисних копалин практично не можлива без негативного впливу на довкілля передусім тому, що відбувається вилучення природних ресурсів з біосфери і залучення їх у економічну систему. У тій чи іншій мірі зміни відбуваються в усіх його складових: геологічному і водному середовищах, атмосферному повітрі, тваринному і рослинному світі. Відбувається системне втручання, коли загрози (небезпека), яка виникає в одному середовищі реалізується в іншому (рис. 1). Таку ситуацію Б. Коммонер сформулював як "усе пов'язане з усім". Яскравим прикладом цього ствердження може бути взаємопов'язаний характер екологічних загроз, виникнення ризиків та збитків при їх реалізації в процесі гірничовидобувної діяльності (ГВД) у Криворізькому залізорудному басейні України.

Техногенні форми рельєфу. Насамперед, до переліку критеріїв які впливають на специфіку оцінки ризиків у гірничо-видобувних регіонах внести *атиповість ландшафту*, яка виражена у формах техногенного рельєфу і створює умови для активізації екзогенних геологічних процесів (ЕГП). За геометричними параметрами нові техногенні форми рельєфу можна порівняти з природними морфоструктурами (табл. 1). Відвали, кар'єри, зони обвалення і зсуву, шламосховища з точки зору геоморфології представляють два типи рельєфу.

Кар'єри та зони обвалення і зсуву можна віднести до денудаційних, а відвали та шламосховища – до акумулятивних форм рельєфу (табл. 2). Процеси денудації надр (розвиток кар'єрів і зон обвалення), супроводжуються створенням акумулятивних, техногенних форм рельєфу – відвалів і шламосховищ. У такій картині техногенного літогенезу ми вбачаємо певну аналогію із тектонічними процесами, обумовленими ендегенними силами: вулканізмом, землетрусами, тектонічними порушеннями, тощо. Продовжуючи таку аналогію, кар'єри нагадують за формою кальдери. Але походження їх, звичайно, техногенне. Порооди верхньої частини земної кори, на місці яких утворена техногенна кальдера, у більшості переміщені до відвалів та шламосховищ. Порожнечі, що виникли під поверхнею землі внаслідок підземного видобутку залізних руд, з часом, під дією природних сил гравітації та завдяки спеціальним технологічним заходам, заповнюють породи висячого та частково лежачого боку покладу. На поверхні утворюються лійки розмірами від десятків до сотень метрів. Навкруги лійок виникає терасування поверхні. У цілому ці нові форми рельєфу утворюють провальні зони та зони зсуву. Зони обвалення, зсуву та просідання поверхні внаслідок підземних робіт скоріше нагадують ендегенні геологічні процеси, ніж екзогенні. Усі розглянуті зміни рельєфу обумовлені техногенними силами.

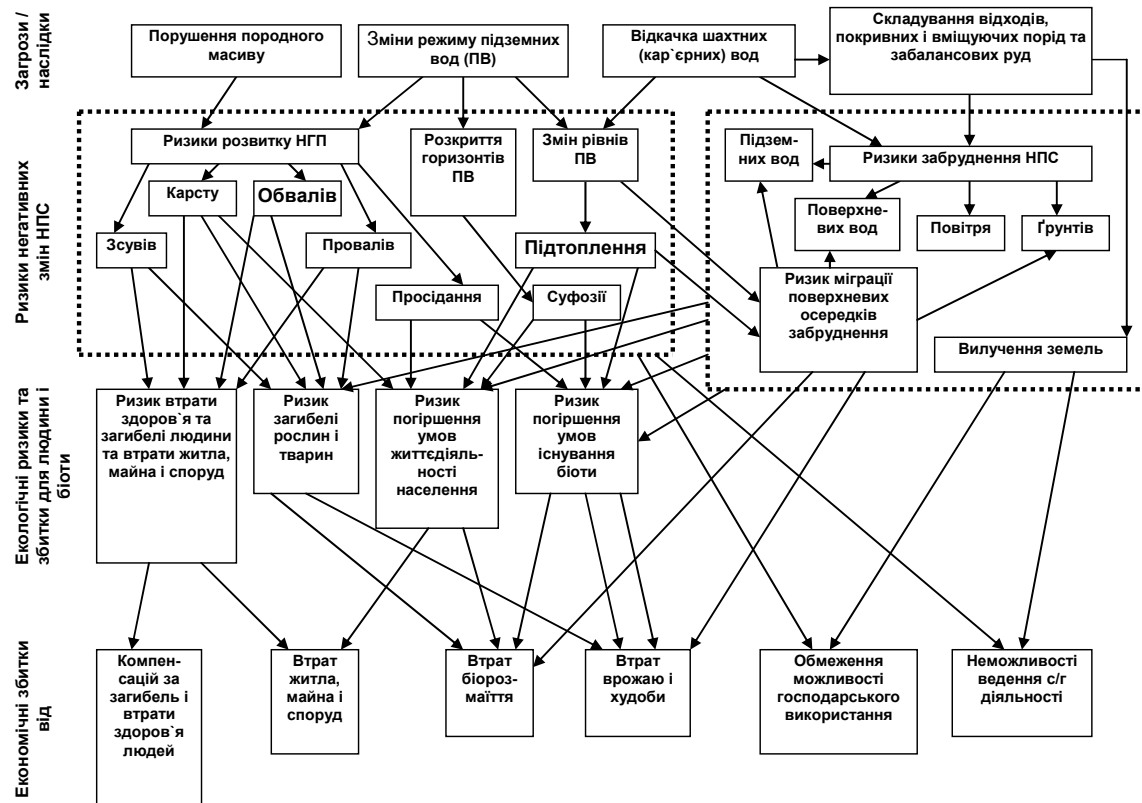


Рис. 1. Загальні наслідки, екологічні ризики та економічні збитки гірничовидобувної діяльності

Таблиця 1

Параметри техногенних об'єктів Кривбасу станом на 2009 р.

Техногенні об'єкти (форми рельєфу)	Довжина – ширина, км (середня)	Висота/ глибина*, м	Загальна площа, км ²	Об'єм, млрд м ³	Маса, млрд т
Кар'єри	1,2 – 7,5	До 400	49 – 53	4,5 – 5,0	–
Відвали	4,5 x 1,2	До 90	64 – 72	8,5 – 9,0	17,0 – 20,0
Шламосховища	3,2 x 2,0	До 70	85 – 90	4,4 – 5,0	3,5 – 4,2**
Зони обвалення та зсуву	0,5 – 4,3	1300	24 – 29	16 – 18,5	42 – 52
Підтоплення		0,5- 1,8	≈140 160	85-130	
Депресійна лійка		До 1500	65 – 70		

Примітка: * Висота чи глибина показані від рівня поверхні, ** маса шламів

Таблиця 2

Техногенні форми рельєфу

Назва	Визначення	Структура, елементи	Літологічний склад	Схематичний малюнок
Кар'єр	Циркоподібні, терасовані, денудаційні, негативні форми рельєфу	Уступ, борт	Відповідає геологічній структурі родовища, що розробляється	
Відвал	Трапецієподібні, терасовані, акумулятивні позитивні форми рельєфу з вершиною у формі плато	Відкос, ярус	Суглинки, глини, глинисто-піщані суміші, вапняки і глинисто-охристі сланці (на півдні Кривбасу), сланці, малорудні і окислені кварцити	
Шламосховища	Акумулятивні алювіальні плато, оточені терасованими дамбами	Первинні і вторинні дамби, навантажуючі призми, дренажні канали, шламові поля (намівні пляжі)	Суглинки, глини, кварцити, шлами збагачення (SiO ₂ , FeO, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	
Зона обрушення і здвигнення	Денудаційні мультіподібні, кільцеві і каньйони з провальними колодязями і терасами на окраїнах негативні форми рельєфу	Провальні колодязі, мультіпрогину і здвигнення, пустоти, уламковий матеріал, зона тріщинуватості	У бортах відповідають геологічній структурі родовища, що розробляється. У зоні обрушення: розубожені руди, породи висячого боку; по лежачому боку язика порід осадового чохла	

Ми вважаємо, що розглянуті нові техногенні форми рельєфу є геологічними об'єктами. Важко не погодитися, що ці об'єкти існуватимуть набагато більше ніж термін розробки покладу.

Екзогенні та ендегенні процеси природно-техногенного походження, що відбуваються на уже сформованих техногенних формах рельєфу Криворіжжя, мають багато спільного із природними ендегенними та екзогенними процесами, що відбуваються зараз чи відбувалися раніше на природних морфоструктурах. Усі нові форми рельєфу, як денудаційні, так і акумулятивні, є джерелами ризиків розвитку ЕГП, а також геохімічними аномаліями, які складають загрозу навколишньому середовищу і здоров'ю людей (табл. 3, 4).

Якщо аналізувати ризики за побудовою ланцюжків "ризик (загроза) – джерело – наслідки", то підземну розробку характеризуватимуть ризики і наслідки, джерелом яких є підземні гірничі роботи. Характеристики наведені в табл. 3, дозволяють оцінити збитки і ймовірність виникнення загрози, а також масштаби загрози.

Ризики, які виникли внаслідок осушення масиву порід літосфери, призводять до змін режиму, рівнів і хімії поверхневих і підземних вод. Вони відображають техногенні процеси видобутку мінеральних ресурсів. Зрозуміло, далі іде ланцюжок техноплагених перетворень в екосистемі.

Для відкритих гірничих робіт характерно утворення антропогенних структур, як акумулятивного типу (відвали), так і денудаційного (кар'єри). речовина відвалів складається з порід розкриву родовища та некондиційної руди, вилучених з простору кар'єру (табл. 4). Природно, в Україні антропогенні морфоструктури виникають на місці земель. здебільше, сільськогосподарського призначення або іншого інтенсивного використання (поселення сільські і міські. прилеглі до них території, комунікації, рекреаційні зони, інші об'єкти інфраструктури). Розробка покладів залізної руди, які залягають під кутом 70°–85°, значно звужують можливості відновлення рельєфу. Відбувається своєрідний обмін ресурсів у суспільстві: біоресурси в обмін на мінеральні ресурси. Відзначене має знаходити відображення в оцінці екологічних збитків. Виходячи з табл. 5 та особливостей виникнення ризиків можна вибрати метод оцінки та провести саму оцінку.

Оцінки ризиків ГВД у Кривбасі. У випадках соціального і екологічного ризику загибелі, травмування людей, тварин або окремих демографічних груп і популяцій тварин і рослин для оцінки ми використовували ймовірність ураженості населення в часі. Вона встановлюється для демографічних груп або конкретного індивіду за виразом добутку від часткових ризиків. Для визначення тривалості перебування групи людей тварин, рослин або окремої людини слід звернути увагу на факт існування в регіоні антропогенних морфоструктур, які є прямим наслідком ГВД, джерелом загроз і складовою ландшафту у якому перебуває населення, тваринний і рослинний світ у регіоні. Виходячи з зазначеного можна стверджувати, що t_d і t_y – тривалість перебування групи людей або особи в межах уражених об'єктів протягом дня і року буде складати 24 години і 365–32=333 дня відповідно. 32 дні – середнє статистичне кількість днів, коли людина знаходиться за межами регіону (відпустки, свята, виїзди на рекреацію за межі регіону у вихідні). Виходячи з цих даних, маємо:

$$V_s^t = 24 \times 333 \times (24 \times 365)^{-1} = 0,912 \quad (1)$$

Соціальний і екологічний ризик загибелі або травмування внаслідок ЕГП на антропогенних морфоструктурах,

як бачимо має регіональний характер і ризик негативного впливу дуже великий.

Більш наближеною до реальної ситуації буде формула, яка описує регіональний рівень ризику надзвичайних ситуацій, обумовлених природними факторами. Оскільки антропогенні морфоструктури за нашими уявленнями є геологічними об'єктами. ЕГП є типовими техноплагеними процесами. Для регіональних оцінок автори [2] рекомендують використовувати формулу, запропоновану Л.Г. Рагозіним.

$$R_{is}(F) = \sum_{i=1}^n ((S_i / T_i) \times r_{si} \times V_{ti} \times V_{si} \times (1 / N_s)), \quad (2)$$

де S_i – площа, що зазнала ураження i -тим уражуючим фактором F_i ; T_i – час, протягом якого відбувалося ураження F_i ; $r_{si} = N_{si} / S_i$ – щільність населення зони ураження S_i ; N_{si} – кількість населення у зоні ураження; V_{ti} – уразливість населення в часі; V_{si} – уразливість населення на території; N_s – кількість населення регіону, щодо якого розраховується ризик.

Перелік факторів ураження (загроз) визначено у табл. 5. Зауважимо, що оскільки видобуток залізної руди відбувається в регіоні, як відкритим так і підземним способом, то багато загроз є спільними для обох способів видобутку. Для розрахунку прийнята загальна кількість населення у регіоні, $N_s = 750\,000$ чоловік; загальна площа регіону Кривбас, $S = 650$ км. Для викидів пилу й газу під час вибухів у кар'єрах уразливість населення у часі оцінювалася в залежності від часу підходу пилогазової хмари до різних районів міста за [3]. Для Кривого Рогу вона становить, $V_{ti} = 0,73$.

Уразливість території міста на якій мешкає населення різних вікових груп визначалась за залежностями, наведеними у цих же авторів. $V_{si} = 0,62$. Для постійно діючих факторів приймаємо $V_{ti} = 0,912$, а соціальний ризик негативного впливу постійно діючих факторів для населення міста з урахуванням району помешкання визначався за табл.5.

Розраховані, виходячи з перелічених даних складові регіонального ризику та перелік загроз за якими відбувався розрахунок, наведені у табл.5. Регіональний ризик у Кривбасі складає $58,72 \times 10^{-4}$. За класифікацією авторів [1], він відповідає категорії – "особливо небезпечного", $>10^{-3}$. Ризик в Україні, в цілому, країні становить $5,35 \times 10^{-4}$ [1], що на порядок менше ніж регіональний ризик у Кривбасі.

Порівняння ризиків від різних природних і техногенних факторів, наведених у табл. 5, указує, що найбільший негативний вплив на рівень регіонального ризику справляє пилоутворення під час вибухів у кар'єрах і вірова ерозія з поверхонь антропогенних структур. Отриманий результат не є чимось неочікуваним. За даними екологічних служб, середньодобові концентрації пилу у повітрі міста Кривий Ріг перевищує ГДК на території. Яка складає 60 – 75 площі міста в адміністративних межах. Але до міста прилягають населені пункти Криворізького району. Медична статистика захворювань також фіксує підвищений рівень респіраторних та бронхо-легеневих захворювань у місті. Особливо вразливими є діти. Труднощами у застосуванні оцінки регіонального ризику є те, що доволі важко коректно розділити незалежні і залежні фактори ризиків. Але аналіз загроз дозволяє виокремити найбільш вагомі фактори, що, у свою чергу, конкретизує можливості управління ризиків. Так у розглянутій ситуації пріоритетними напрямками постає спрямування зусиль на розвиток рослинного покриття на відвалах і бортах кар'єрів та розробки технологій масових вибухів зі зменшенням викидів пилу.

Таблиця 3

Ризики підземного видобутку залізної руди								
Ризик	Група ризиків				Територія	Демографічні групи	Населення	Прояви (наслідки)
	Ризики для соціального середовища	Ризики для природного середовища	Здоров'я	Якість життя				
Зниження рівня поверхневих вод	Проблеми з нецентралізованим водопостачанням	Пересушення ґрунтів. Вплив на біогеоценози	-	Збільшення витрат на воду	-16–18%	Усі	6-10%	Утворення депресійної лійки
Забруднення підземних і поверхневих вод	Проблеми з нецентралізованим водопостачанням. Зниження якості ґрунтів	Вплив на біогеоценози, водні екосистеми	Захворюваність нирок та шлунково-кишкового тракту	Збільшення витрат на лікування. Втрати від погіршення здоров'я	-20–24%	До 5% у вік. групах 45–75 років	12–17%	Порушення гідрологічного режиму надр
Підтоплення	Проблеми з нецентралізованим водопостачанням. Зниження якості ґрунтів. Зменшення площ земель господарського призначення у місті	Заболочування. Поширення рудеральної рослинності, шкідливої мезофауни	Погіршення санітарно-епідемічної ситуації	Збільшення витрат на лікування. Втрати від погіршення здоров'я	-10–12%	Усі	До 5%	Наслідки ліквідації шахт і дренажу ставків-накопичувачів шахтних вод
Порушення цілісності масиву порід	Зменшення площ земель господарського призначення у місті	Поширення рудеральної рослинності	Погіршення психічного здоров'я	Зменшення вартості житла. Невпевненість у тривалому проживанні у обраному місці	До 10%	40 і більше років	До 10%	Наведена сейсмічність, некероване переміщення гірських порід;
Зміни рельєфу поверхні	Зменшення площ земель господарського призначення у місті	Поширення рудеральної рослинності	Загибель внаслідок потрапляння до зони обвалення	Збільшення транспортних витрат (час і гроші). Погіршення ландшафту	5–7%	12-50 років	До 30%	Утворення провальних зон і зон зсуву в місті і прилеглих територіях

Таблиця 4

Ризики відкритого видобутку залізної руди								
Ризик	Група ризиків				Територія	Демографічні групи	Населення	Прояви (наслідки)
	Ризики для соціального середовища	Ризики для природного середовища	Здоров'я	Якість життя				
Зниження рівня поверхневих вод	Проблеми з нецентралізованим водопостачанням	Пересушення ґрунтів. Вплив на біогеоценози	-	Збільшення витрат на воду	-16–18%	Усі	6-10%	Утворення депресійної лійки
Забруднення підземних і поверхневих вод	Проблеми з нецентралізованим водопостачанням. Зниження якості ґрунтів	Вплив на біогеоценози, водні екосистеми	Захворюваність нирок та шлунково-кишкового тракту	Збільшення витрат на лікування. Втрати від погіршення здоров'я	-20–24%	До 5% у вік. групах 45–75 років	12–17%	Порушення гідрологічного режиму
Підтоплення	Проблеми з нецентралізованим водопостачанням. Зниження якості ґрунтів. Зменшення площ земель господарського призначення у місті	Заболочування. Поширення рудеральної рослинності, шкідливої мезофауни	Погіршення санітарно-епідемічної ситуації	Збільшення витрат на лікування. Втрати від погіршення здоров'я	-10–12%	Усі	До 5%	Наслідки ліквідації шахт і дренажу ставків-накопичувачів шахтних вод
Утворення пилу на відкритих поверхнях антропогенних морфоструктур	Погіршення якості ґрунтів	Закислення ґрунтів, збіднення біоценозів	Бронхо-легеневі хвороби. Алергії	Збільшення витрат на лікування. Втрати від погіршення здоров'я. Збільшення витрат на прибирання в оселях і на прання	100%	Діти особливо	80%	Наведена сейсмічність, некероване переміщення гірських порід
Викиди залізо-силікатного пилу під час вибухів	Погіршення якості ґрунтів	Закислення ґрунтів, збіднення біоценозів	Бронхо-легеневі хвороби. Алергії. Напади ядухи	Збільшення витрат на лікування. Втрати від погіршення здоров'я. Збільшення витрат на прибирання в оселях і на прання	8–12%	Діти	40-45%	
Викиди газу	-	-	Алергії. Напади ядухи	Збільшення витрат на лікування. Втрати від погіршення здоров'я.	3–5%	Діти ≤ 50 років	6-8% <1%	
Сейсмічні ефекти під час вибухів	-	-	Погіршення психічного стану	Збільшення витрат на ремонт оселі. Зменшення вартості житла	до 25%	Усі	<1%	
Зміни рельєфу поверхні	Зменшення площ земель господарського призначення у місті	Поширення рудеральної рослинності	-	Збільшення транспортних витрат (час і гроші). Погіршення ландшафту	15–20%	12-50 років	До 30%	Утворення провальних зон і зон зсуву в місті і прилеглих територіях
Розвиток ЕГП	Зменшення площ земель господарського призначення у місті	Поширення рудеральної рослинності. Руїнація рослинного покриву. Замулення водойм	-	Погіршення сприйняття ландшафту	До 20%	12-50 років	До 7%	

Таблиця 5

Перелік факторів, які визначають регіональний ризик

№	Назва фактору, F	Відкритий спосіб	Підземний спосіб	S _i , км ²	T _i , днів	r _{si} = N _s / S _i , л/км ² ×10 ³	Ns _i ×10 ³ людей	Vt _i	Vs _i	R _{is} (F _i)×10 ⁻⁴
1	Зниження рівня поверхневих вод	×	×	110	333	0,61	67	0,912	0,07	0,17
2	Забруднення підземних і поверхневих вод	×	×	280	333	0,77	190	0,912	0,65	5,0
3	Підтоплення	×	×	68	333	0,44	30	0,912	0,76	0,83
4	Порушення цілісності масиву порід		×	65	333	1,08	70	0,912	0,56	1,4
5	Зміни рельєфу поверхні	×	×	160	333	0,69	230	0,912	0,61	2,4
6	Утворення пилу на відкритих поверхнях антропогенних морфоструктур	×		650	333	1,15	750	0,912	0,88	24,0
7	Викиди залізо-силікатного пилу під час вибухів	×		65	19	0,85	315	0,73	0,62	17,5
8	Викиди газу	×		26	19	0,87	70	0,73	0,62	7,2
9	Сейсмічні ефекти під час вибухів	×		162	19	0,05	8	0,054	0,075	0,02
10	Розвиток ЕГП	×	×	110	333	0,45	50	0,095	0,17	0,03

У табл. 5 пил є переважаючим фактором, який формує регіональний ризик. Цей фактор можна також розглядати як такий, що обмежує доступ населення до природного ресурсу, у даному випадку йдеться про чисте повітря. Тут можна застосувати методику порівняльної оцінки ризику.

Будемо вважати чистим повітря у якому концентрація пилу нижче або дорівнює ГДК. Експозиція:

$$E = T_b \times D = (6 - 10) \times (1 - 2,4) \times 4,0 = 24 - 96 \text{ год} \times \text{г/м}^3 \times \text{добу} \quad (3)$$

Залежно від району експозиція може змінюватися від 24 до 96 год×г/м³×добу. Якщо експозиція у E = 32 год×г/м³×добу охоплює 5 % і більше населення, то наслідки впливу небезпечного фактора слід вважати "особливо небезпечними". Отже майже на всій території міста стан повітряного басейну, як за оцінками регіонального ризику, так і за даними порівняльного аналізу ризиків, є вкрай небезпечний. Двома різними методами отримано однакові результати. Порівняно з класифікацією авторів [1], за факторами забруднення повітря і

ґрунтових вод ситуацію у Кривбасі також можна визначити як небезпечну. Інші фактори дозволяють віднести її до прийнятної.

Висновки та пропозиції. За В.Т. Трофімовим [4], якщо площа техногенного рельєфу перевищує 25 % ділянки, що оцінюється, то такий стан відноситься до кризового. Таке співвідношення у Кривбасі перевищує 35 %, тобто стан рельєфу характеризується як кризовий. Отже, різні фактори небезпеки у Криворізькому залізорудному басейні спричиняють наслідки, які оцінюються як кризові та катастрофічні. Тому варто провести комплексну оцінку безпеки життя у регіоні.

1. Буравльов Є.П., Дрозд І.П., Коваль Г.М. Класифікація і управління техногенними ризиками // Екологія і ресурси: 36. наук. праць. – К., 2003. – Вип. 7. – С. 17-25. 2. Коржнев М.М., Малахов І.М. Еколого-економічні аспекти використання мінеральної сировини у збалансованому розвитку суспільства // Екологічна безпека та природокористування: 36. наук. праць. – К., 2009. – Вип. 4. – С. 87-99. 3. Малахов І.Н. Новая геологическая сила. – Кривой Рог, 2009. 4. Трофимов В.Т. и др. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. – М., 1997.

Надійшла до редколегії 21.05.12