



Original researches

The Reduction of Greenhouse Gas Emissions Through the Implementation of Low-carbon Technologies for the Use of Lands disturbed by Mining Operations

Received: 24 February 2021
Revised: 01 March 2021
Accepted: 02 March 2021

Institute for Nature Management Problems & Ecology of National Academy of Sciences of Ukraine, Vladimir Monomakh Str., 6, Dnipro, 49000, Ukraine

Tel.: +38-056-245-30-43
E-mail: ippenanu@ukr.net

Cite this article: Skrypnyk, O. O., Ostapenko, N. S., & Kriuchkova, S. V. (2021). The reduction of greenhouse gas emissions through the implementation of low-carbon technologies for the use of lands disturbed by mining operations. *Agrology*, 4(2), 59–64. doi: 10.32819/021007

O. O. Skrypnyk, N. S. Ostapenko, S. V. Kriuchkova
Institute for Nature Management Problems & Ecology of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Abstract. The climate change is a global environmental problem. Its solution requires the reduction of greenhouse gas emissions, especially CO₂, as soon as possible. The development and implementation of low-carbon technologies can help in achievement this goal. Disturbed lands, which are a source of environmental pollution, can be used to reduce CO₂ emissions. We propose to introduce technologies for locating solar and wind power plants on disturbed lands, primarily on mining dumps of overburden. The capacity of such solar and wind power plants can replace thermal power plants, which generate the main volumes of CO₂ emissions. Placing on the mining dumps of overburden of solar power plants has advantages due to the use of southern exposures of the slopes. The wind power plants on the top of mining dumps of overburden take more opportunities to use of wind speed by attracting additional height. Mining dumps have emitted carbon dioxide due to the decomposition of limestone and the spontaneous combustion of carbon-containing rocks. Counteraction of CO₂ emissions by coating the surface with inert materials that block the access of moisture and acid solutions to hazardous rocks is proposed. The use of new technologies for the rehabilitation of disturbed lands through the formation of secondary ecosystems creates opportunities to reduce greenhouse gas emissions. This have avoids additional CO₂ emissions during the operation of machines and mechanisms at the mining–technical and biological stages of reclamation. Secondary soils able to accumulate carbon in the form of organic matter up to 11 t / ha for 30–50 years. The study of technogenic soils formation on loesslike loams in the landscape reserves “Vizyrka” (Inguletsky GOK), “Hrushivka” (Marganetsky GOK), “Verzhina” (Prosyansky GOK) are have evidenced of this facts. Plant components of ecosystems have even more opportunities. Secondary vegetation absorbs CO₂ from the atmosphere during photosynthesis, creates the coating of surface of lands disturbed by mining operations. Clover plant group show the greatest ability to accumulate carbon (up to 57 t/ha per year). The research was carried out at the research area of Inguletsky GOK. Our assessment testifies that the integrated application of the above technologies will reduce emissions in Kryvbas by 95 million tons of CO₂ per year. The work was carried out under the target program of the National Academy of Sciences of Ukraine “Scientific and technical and economic and ecological foundations of low-carbon development of Ukraine”.

Keywords: climate; emissions; ecosystems; greenhouse effect; mining heaps; secondary vegetation.

Скорочення викидів парникових газів шляхом упровадження низьковуглецевих технологій використання земель, порушених гірничими роботами

О. О. Скрипник, Н. С. Остапенко, С. В. Крючкова

Інститут проблем природокористування та екології Національної Академії Наук України, м. Дніпро, Україна

Анотація. Зміна клімату є глобальною екологічною проблемою. Її вирішення потребує якомога швидшого скорочення викидів парникових газів, особливо CO₂. Розробка та впровадження низьковуглецевих технологій можуть допомогти в досягненні цієї мети. Порушені землі, які є джерелом забруднення навколишнього середовища, можуть використовуватися для зменшення викидів CO₂. Пропонується впровадити технології розміщення сонячних та вітрових електростанцій на порушених землях, насамперед на видобувних відвалах розкривних порід. Потужність таких сонячних та вітрових електростанцій може замінити теплові електростанції, які генерують основні обсяги викидів CO₂. Розміщення на видобувних відвалах розкривних порід сонячних електростанцій має переваги завдяки використанню південних експозицій схилів. Вітрові електростанції на вершинах гірських відвалів розкривних порід мають більше можливостей використовувати швидкість вітру, залучаючи додаткову висоту. Гірничі відвали викидають вулканічний газ через розкладання вапняку та самозаймання вуглевмісних порід. Запропоновано протидіяти викидам CO₂ шляхом покриття поверхні інертними матеріалами, які блокують доступ вологи та кислотних розчинів до небезпечних порід. Використання нових технологій реабілітації порушених земель шляхом формування вторинних екосистем створює

можливості щодо скорочення викидів парникових газів. Це дозволяє уникнути додаткових викидів CO₂ під час роботи машин та механізмів на гірничо-технічному та біологічному етапах рекультивациі. Вторинні ґрунти здатні накопичувати вуглець у вигляді органічної речовини до 11 т/га за 30-50 річний період. Про це свідчать дослідження формування техногенних ґрунтів на лесоподібних суглинках в ландшафтних заказниках “Візірка” (Інгулецький ГЗК), “Грушівка” (Марганецький ГЗК), “Вершина” (Присянський ГЗК). Рослинні компоненти екосистем мають ще більше можливостей. Вторинна рослинність поглинає CO₂ з атмосфери під час фотосинтезу, створює покриття поверхні земель, порушених у результаті гірничих робіт. Найбільшу здатність накопичувати вуглець виявляють буркунові угруповання конюшини (до 57 т/га на рік). Дослідження здійснювалися на дослідницькій ділянці Інгулецького ГЗК. Наша оцінка свідчить про те, що комплексне застосування згаданих технологій зменшить викиди в Кривбасі на 95 млн тонн CO₂ на рік. Робота виконана за цільовою програмою Національної Академії наук України “Науково-технічні та економіко-екологічні засади низьковуглецевого розвитку України”.

Ключові слова: клімат; викиди; екосистеми; парниковий ефект; гірничі відвали; вторинна рослинність.

Вступ

Прийняті на вищих рівнях міжнародні й державні документи – Рамкова конвенція Організації Об’єднаних Націй про зміну клімату (1992), Кіотський протокол (1995), Варшавський міжнародний механізм по втратах і збитку в результаті впливів зміни клімату (2014), Паризька кліматична угода (2016), Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року (2017) – визначають як пріоритетні напрями боротьби з глобальними змінами клімату в умовах сталого розвитку впровадження інноваційних технологій: “декарбонізована енергетика”; низьковуглецеве “поводження з відходами”; “енергоефективність” промисловості; “скорочення викидів промисловістю парникових газів”; “поглинання вуглецю та скорочення викидів у сфері землекористування”.

У документах, розроблених та ратифікованих Україною, відзначається необхідність “підвищення опірності ... екологічних систем, у тому числі шляхом ... сталого управління природними ресурсами”. Розроблені і прийняті нормативні документи: Закон України від 29.10.1996 р. № 435/96-ВР “Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату” / Law of Ukraine of October 29, 1996 № 435/96-VR “On Ratification of the UN Framework Convention on Climate Change”; Закон України від 04.02.2004 р. № 1430-IV “Про ратифікацію Кіотського протоколу до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату” / Law of Ukraine of February 4, 2004 № 1430-IV “On Ratification of the Kyoto Protocol to the UN Framework Convention on Climate Change”.

Незважаючи на своєчасність та змістовність документів, емісія CO₂ продовжує збільшуватися, і зміни клімату створюють загрозу життю людей (Moran et al., 2018). Накопичуються величезні обсяги відходів, особливо від гірничих підприємств (Powell et al., 2018). Одним із засобів зменшення шкідливих викидів є впровадження економічних важелів у вигляді квот, податків та зборів (Carattini et al., 2017). Звісно, гірничі підприємства стають вельми зацікавленими в розробці методів розрахунку викидів парникових газів, у тому числі з використанням засобів дистанційного зондування Землі, (El Kenawy et al., 2019). Доведено поглинання CO₂ трав’янистою (Wilson et al., 2018) та дерев’янистою рослинністю (Toensmeier, 2017; Favero et al., 2017). Водяна пара є одним з парникових газів, і розширення водоїм також сприяє змінам клімату (Wang et al., 2018). Багато уваги приділяється і методам активізації поглинання CO₂ через удосконалення землекористування (Hu et al., 2018), створення на поверхні землі покриття (Meier et al., 2018; Chakraborty & Lee, 2019). Одним із перспективних напрямів боротьби зі змінами клімату сьогодні вважається заміна теплової генерації на вітрову та фотоелектричну (Pehl et al., 2017; Shen et al., 2018).

Виходячи з цього, актуальності набуває розробка технологій протидії глобальним змінам клімату з використанням земель, порушених гірничими роботами, площа яких в Україні за обліковими даними становить 165 тис. га. Тільки в Дніпропетровській області таких земель налічується майже 30 тис. га.

За нашими оцінками, в тому числі з використанням засобів ДЗЗ, реальна площа земель, порушених гірничими роботами, перевищує облікову в 4 рази.

Повернення порушених земель у стан природного функці-

онування вторинних екосистем створює можливість запуску біологічних механізмів саморегуляції біосфери, в тому числі стабілізації вмісту парникових газів і температури. Мета роботи полягає в залученні порушених гірничими роботами земель у протидію глобальним змінам клімату.

Матеріал та методи

Роботи виконували на порушених землях Кривбасу та Донбасу. Показники землекористування гірничих підприємств отримували за статистичними довідниками. Показники енергоспоживання обчислювали за даними найкращих гірничих технологій. Дослідження будови поверхні та стану екосистем виконували з використанням матеріалів ДЗЗ Landsat та сервісів ArcView і Google Earth, які знаходяться у відкритому доступі.

Для вирішення поставлених завдань використовували наукові методи: графоаналітичний; аналізу й узагальнення статистичних і картографічних даних; математичного моделювання; системного й техніко-економічного аналізу.

Розрахунок площ поверхні порушених земель виконували за допомогою коефіцієнта приведення

$$S_{3d} = k_{3d} \cdot S_{2d} = S_{2d} / \cos \alpha \text{ ,}$$

де S_{3d} – площа поверхні за тривимірною моделлю, м²;

S_{2d} – площа горизонтальної проекції за двовимірною моделлю, м²;

k_{3d} – коефіцієнт приведення;

G – ухил схилу, градієнт;

α – кут нахилу схилу, град.

Площу довільної поверхні розраховували як суму однорідних за геометризацийними параметрами ділянок з коефіцієнтом приведення

$$S_{3d} = \sum_i^n k_{3di} \cdot S_{2di} \text{ .}$$

Уміст гумусу в техноземах встановлювали за методом Тюріна. Для визначення проективного покриття рослинності застосовували метод квадратів, предметом якого є двовимірний територіальний елемент. У геоботаніці з 1837 року застосовувався квадрат (зі стороною в один метр), який до сих пір визнається найкращою формою для облікових досліджень (Stallard, 1929). Розміри облікових майданчиків становили 1 м², відповідно до переважаючих життєвих форм та їх розмірів (Сукачов та ін., 1909; Альохін, 1910; Раменський, 1915; Іллінський, 1915; 1925; 1934; Лавренко та Пряншніків, 1926; 1928; Braun-Blaunket, 1929; 1951; Stallard, 1929; Шенников, 1930; 1938; Lutz, 1930; Лавренко, 1931; Du Rietz, 1932; Robertson, 1939; Корчагін, 1946; Ларін, 1952; Марков, 1954 та інші). Як пристосування для визначення проективного покриття використовували квадрат-рамку та сіточку Раменського, які в основі мають геометричний принцип палетки. Продуктивність трав’янистої рослинності визначали методом укисних майданчиків (Ponyatovskaya, 1964). На майданчику площею 1 м² викошували надземну біомасу, зважували в сирому та сухому вигляді. Методом модельної рослини (Plohinskij, 1970) визначали коефіцієнт для розрахунку підземної біомаси. Загальну продуктивність вираховували як суму надземної та підземної

біомаси. Оцінку продуктивності деревостанів визначали розрахунковим методом по таксаційних показниках за формулою Денцина (Tishin, 2011).

Результати

Оцінка потенціалу впровадження технологій відновлювальної енергетики на землях, порушених гірничими роботами. Гірничі технології, які застосовуються на підприємствах країни, потребують величезних витрат енергії, генерація якої (в основному, на теплових та атомних електростанціях) веде до викидів парникових газів. Енергетична складова на гірничих підприємствах сягає 30% від загальних витрат. Перехід до використання енергії фотоелектричної та вітрової генерації дозволить знизити як собівартість гірничорудної продукції, так і негативний вплив гірничорудних технологій на навколишнє середовище.

Аналіз параметрів функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Кривбасу свідчить про те, що вони мають ресурсний потенціал сонячної генерації, порівнянний з їх енергоспоживанням (табл. 1).

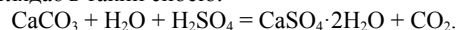
Кращі можливості для розміщення сонячних та вітрових електростанцій мають відвали гірничих розробок (табл. 2). Переваги для сонячної генерації мають схили південних експозицій.

Переваги для сонячної генерації мають схили південних експозицій. Для вітрових електростанцій найкращими умовами є розміщення на плато відвалів, де використовується додаткова висота. Елементарні розрахунки підтверджують, що розміщення сонячних електростанцій на відвалах гірничих підприємств Кривбасу сприятиме зменшенню на 92 млн т викидів CO₂ на рік.

Емісія парникових газів з гірських порід порушених земель. У природних умовах емісія парникових газів здійснюється з осадових порід. До мінералів, здатних до емісії CO₂, відносять солі вугільної кислоти (Vojtkevich & Kokin, 1990). Нормальні карбонати значно поширені на поверхні відвалів: кальцит CaCO₃, доломіт CaMg(CO₃)₂, магнезит MgCO₃, сидерит FeCO₃, витерит BaCO₃, барито-кальцит BaCa(CO₃)₂ та інші.

У процесах трансформації мінералів, і відповідно утворення парникових газів, переважає взаємодія матеріалу з водним середовищем та кислотами: H₂CO₃, HCl, H₂SO₄, HNO₃.

Зрушення реакції убік розкладання, тобто посилення емісії діоксиду вуглецю, може обумовлюватися низкою факторів. До них варто віднести кислотність взаємодіючого середовища (рН), дисперсність матеріалу (гранулометричний склад, питома поверхня), температуру навколишнього середовища. Один із варіантів хімічного процесу перетворення кальциту CaCO₃ виглядає в такий спосіб:



Взаємодія з кислими шахтними (кар'єрними) водами забруднених ґрунтів і пляжів шламосховищ також призводить до утворення двоокису вуглецю (Korach et al., 2006). Крім того, породні відвали шахт і вуглезбагачувальних фабрик Донбасу, що горять та димлять, виділяють у середньому на добу: CO₂ – 154170 кг; NO+NO₂ – 72 кг; CO – 9758 кг; SO₂ – 1476 кг; H₂S – 339 кг.

Формування вторинних екосистем на землях, порушених гірничими роботами, як низьковуглецева технологія.

Проведення гірничих робіт супроводжується утворенням порушених земель з повним знищенням природних екосистем: зміною будови поверхні; виходом на поверхню абіотичних гірських порід. Порушені землі слугують джерелом забруднення навколишнього середовища і вимагають технологічної реабілітації. Здійснення технологічного впливу на техноекосистему в більшості випадків пов'язано з додаванням речовини або енергії зі зміною стану порушених земель. Управління технологічною діяльністю створює можливість формування цільового типу екосистем, необхідних для стійкого розвитку даної території, у тому числі й спрямованого на депонування вуглецю, скорочення емісії двоокису вуглецю і метану.

Формування вторинних екосистем об'єднує методи технологічного впливу на природні процеси. Метою цих методів є створення природних екосистем, які найбільшою мірою відповідають умовам, що виникли на порушених гірничими ро-

Таблиця 1. Енергоспоживання і потенціал генерації сонячних електростанцій (СЕС), розміщених на землях, порушених гірничими підприємствами Кривбасу

ГЗК	Обсяг виробництва, млн т	Необхідна потужність, МВт*	Площа порушених земель, га	Потенційна потужність СЕС, МВт
Північний	14,2	493	2590	1290
Центральний	8,9	309	3300	1650
Південний	10,1	351	1870	935
Новокриворізький	9,6	333	1760	880
Інгулецький	14	486	1530	760
ВСЬОГО:	56, 8	1972	11050	5515

Примітка. * – Необхідна потужність розрахована за показниками найкращих доступних гірничих технологій (The information and technical handbook of the best available technology, 2017).

Таблиця 2. Диференціація потенціалу сонячної генерації за розташуванням на відвалах і хвостосховищах ГЗК Кривбасу

ГЗК	Площа, відвалів, га	Потенційна потужність СЕС, МВт	Площа хвостосховищ, га	Потенційна потужність СЕС, МВт
Північний	1690	845	900	450
Центральний	1200	600	2100	1050
Південний	1210	605	660	330
Новокриворізький	1000	500	760	380
Інгулецький	630	315	900	450
ВСЬОГО:	5730	2865	5320	2660

ботами землях. Двигуном є природна здатність екосистем до самовідновлення. Вона властива всім екосистемам, які мають біотичну складову (Sharar et al., 2005). У процесі взаємодії з біотою породи перетворюються на ґрунтовірні, дають живильні елементи для рослин, мікроорганізмів і тварин. Формування вторинних ґрунтів веде до депонування елементів, у тому числі вуглецю агрегування гранулометричних елементів, накопичення вологи і органічної речовини, поглинання пилу і газів, що сприяє зменшенню екологічних ризиків.

Реабілітація порушених земель передбачає 3 основних напрями: формування вторинних екосистем; рекультивацію; меліорацію. Рекультивація за визначенням являє собою комплекс робіт, спрямованих на відновлення продуктивності порушених земель. Рекультивація передбачає перш за все створення ґрунтоподібних шаруватих утворень (Sharar et al., 2005). Традиційно вона поділяється на 2 етапи: гірничотехнічний і біологічний. Перевага надається штучним методам: розплануванню, землеванню, створенню штучного профілю ґрунтів. Рекультивація передбачає зменшення різноманітності ландшафтів і використання земель у штучних агроценозах або лісових насадженнях з обмеженою біологічною різноманітністю. Енергетична основа рекультивації забезпечується за рахунок роботи машин і механізмів. Комплекс рекультивації, що став уже традиційним, вимагає великих енергетичних витрат, супроводжується виділенням відходів, у тому числі і парникових газів. На окремих стадіях рекультивації спостерігаються деградаційні явища (водна та вітрова ерозія ґрунтів, загибель

рослин тощо).

Для здійснення меліорації необхідні додаткові витрати енергії на видобуток меліоруючих речовин і внесення їх у техноекосистеми. Меліоративні роботи часто залишають після себе засолені і солонцюваті ґрунти, пересушені торф'яники, підтоплені землі. Меліорація може істотно впливати на режим ґрунтових і поверхневих вод, порушувати гідрологічний та екологічний баланс.

Формування вторинних екосистем викликає значно менший вплив на навколишнє середовище, ніж витратні технології рекультивації (рис. 1).

Формування рослинних угруповань веде до накопичення біомаси, яка здатна поглинати токсичні речовини, пил і парникові гази, до зростання вторинного біорізноманіття, захисту поверхні від впливу вітру й поверхневого стоку, що також сприяє зменшенню екологічної шкоди.

Вторинні ґрунти в процесі свого розвитку депонують вуглець у складі органічної речовини. Розвиток вторинних екосистем супроводжується посиленням їх продукційної здатності і темпів накопичення органічної речовини. Щорічне накопичення гумусу в розвинених екосистемах становить 0,5–1,0 т/га, депонування вуглецю при цьому дорівнює 0,3–0,6 т/га. Дослідження процесу накопичення органічної речовини свідчить про те, що запаси гумусу в техноземах вторинних екосистем становлять 10–18 т/га, що дозволяє забезпечити депонування 6–11 т/га вуглецю (рис. 2) за 30–50-річний період.

У цілому формування вторинних екосистем на поруше-

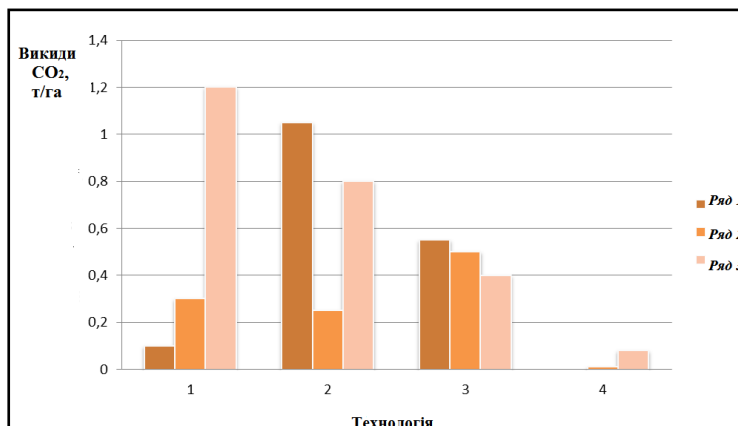


Рис. 1. Викиди двоокису вуглецю при здійсненні технологій реабілітації земель, порушених гірничими роботами: 1 – сільськогосподарська рекультивація; 2 – лісогосподарська рекультивація; 3 – рекреаційна рекультивація; 4 – формування вторинних екосистем; Ряд 1 – викиди через заготівлю та внесення діаспор; Ряд 2 – викиди через добування та внесення добрив; Ряд 3 – викиди через роботу машин та механізмів

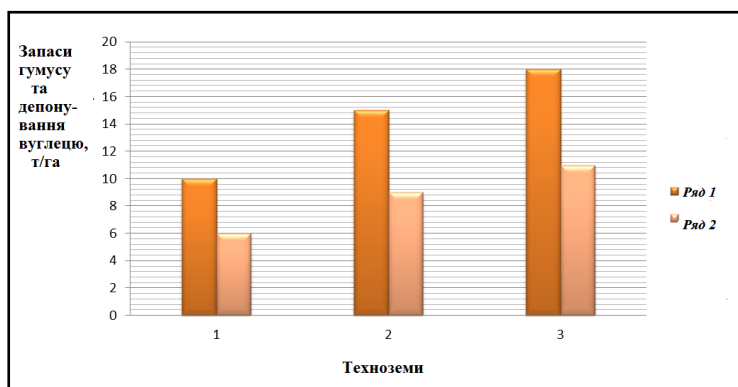


Рис. 2. Накопичення гумусу і депонування вуглецю у вторинних ґрунтах на землях, порушених гірничими роботами: 1 – техноземи на кам'янистих лесоподібних суглинках ландшафтного заказника “Візирка” (ПРАТ “ІНГЗК”); 2 – техноземи лесоподібних суглинків ландшафтного заказника “Грушівка” (АТ “Марганецький ГЗК”); 3 – техноземи лесоподібних суглинків ландшафтного заказника “Вершина” (ТОВ “ПРОСКО”, в минулому – ВАТ “Просянський ГЗК”); Ряд 1 – запаси гумусу, т/га; Ряд 2 – депонування С, т/га

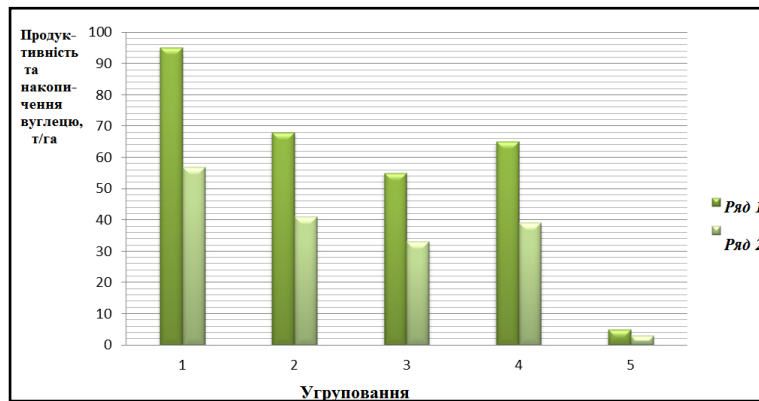


Рис. 3. Середня щорічна продуктивність і накопичення вуглецю вторинними рослинними угрупованнями за рік: 1 – буркуніві; 2 – люцернові; 3 – акацієві; 4 – аморфові; 5 – дубові; Ряд 1 – чиста первинна продуктивність, т/га; Ряд 2 – накопичення вуглецю, т/га

них землях може сприяти щорічному депонуванню вуглецю до 68 т/га.

Внесення осадів стічних вод на поверхню порушених земель дозволяє залучити до 100 т/га органічних відходів у процес екосистемоутворення. При загальних запасах осадів стічних вод на підприємствах КП “Кривбасводоканал” в 150 000 т, застосування технології дозволяє уникнути емісії 550 000 т CO₂ при їх традиційному спалюванні. Ще більш активно відбувається накопичення вуглецю вторинною рослинністю, яка споживає CO₂ в процесі фотосинтезу.

Дослідження вторинних фітоценозів на дослідній ділянці (відвал № 3 Інгулецького ГЗК) свідчать про те, що найвищу продуктивність демонструють вторинні трав’янисті угруповання, серед яких домінуючими видами є буркун білий і люцерна посівна (рис. 3).

Відродження всіх земель, порушених гірничими роботами, може забезпечити щорічне депонування 3 млн т вуглецю в Дніпропетровській області, що відповідає поглинанню 11 млн т CO₂.

Обговорення

Техногенез супроводжується не тільки безпосередніми викидами парникових газів в атмосферу і зміненням клімату, але й зміною земель, на яких екосистеми втрачають здатність підтримувати стабільність біосфери. Для вирішення проблеми зміни клімату пропонується застосовувати комплексні підходи (Rockström et al., 2017). Відмова від здійснення масштабного втручання в природні екосистеми, необхідність зменшення техногенного впливу та збільшення природної складової в методах відновлення вимагають формування вторинних екосистем на основі природного функціонування. Вони базуються на нових підходах і орієнтовані на екологічні результати (Sharar et al., 2005). Гірничі підприємства мають земельні ресурси, порушені гірничими роботами, які використовуються слабо. Вони можуть слугувати для розміщення об’єктів вітрової та сонячної енергетики. Хвостосховища потребують переважного використання наплавних сонячних електростанцій, експлуатація яких є більш складною за технологією. Порушені землі вуглеводобувних регіонів є потужним джерелом викидів діоксида вуглецю (Korach et al., 2006). Унаслідок видобутку вугілля підземним способом поблизу шахти формуються терикони, складені з розпушеного й переміщеного матеріалу літосфери. Встановлено, що понад 85% відвалів Донбасу відносяться до таких, що горять. Розрахунки свідчать про те, що тільки в Донецькій області емісія CO₂ сягає 28 млн т на рік. Технології зниження емісії парникових газів з породних териконів є відомими і вже мають упровадження на підприємствах “Донецьксталь”: га-

сіння відвалів, що горять; переформування конічних відвалів у пласкі; ізолювання шарів та поверхні відвалів інертними речовинами. Розрахунки показали, що за повного розкладання вапняку (при розрахунковій глибині 0,01 м) з відвалів Кривбасу, залежно від щільності породи, може виділитися близько 128 млн т CO₂. Для запобігання емісії CO₂ може бути застосована технологія покриття поверхні вапнякових відвалів інертними матеріалами: ущільненою глиною, поліетиленовою плівкою, ґрунтовими сумішами.

Технологія активізації формування вторинних ґрунтів дозволяє проводити утилізацію органічних відходів комунального, лісового, сільського господарства та переробної промисловості. Отримані результати свідчать про те, що застосування нових технологій сприяє скороченню викидів CO₂ на 1,5 т/га.

Висновки

За нашими оцінками, порушені землі в Україні, займають близько 1 млн га, в тому числі в Дніпропетровській області понад 85 тис. га. Вони є джерелом забруднення навколишнього середовища, сприяють розвитку змін клімату. Розміщення на території відвалів і хвостосховищ сонячних та вітрових електростанцій надає можливість виробити електроенергію без викидів двоокису вуглецю. Потенціал сонячної генерації від розміщення на відвалах гірничо-збагачувальних підприємств Кривбасу досягає 2685 МВт. Таким чином, можливим є зменшення в Кривбасі викидів CO₂ на 92 млн т на рік. Для запобігання емісії CO₂ гірськими породами можна застосувати технологію покриття поверхні вапнякових та вугільних відвалів інертними матеріалами: ущільненою глиною, ґрунтовими сумішами. Припинення емісії двоокису вуглецю відвалами, які горять, тільки в Донецькій області дозволить скоротити викиди у 28 млн т на рік.

Впровадження технологій формування вторинних екосистем замість традиційної рекультивациі дозволяє зменшити викиди CO₂ на більш ніж 2 т/га. Вторинні екосистеми, створені на порушених землях, тільки в Дніпропетровській області здатні поглинати до 11 млн т CO₂ на рік.

У подальшому, в цілях активізації протидії змінам клімату, передбачається розвивати дослідження в напрямку екологізації технологій природокористування, поширювати впровадження низьковуглецевих технологій у використанні порушених земель, особливо на територіях складування відходів гірничого видобутку. Робота виконується за цільовою програмою Національної Академії Наук України “Науково-технічні та економіко-екологічні засади низьковуглецевого розвитку України” на 2020 рік.

Reference

- Carattini, S., Baranzini, A., Thalmann, P., Varone, F., & Vöhringer, F. (2017). Green Taxes in a Post-Paris World: Are Millions of Nays Inevitable? *Environmental and Resource Economics*, 68(1), 97–128. doi: [10.1007/s10640-017-0133-8](https://doi.org/10.1007/s10640-017-0133-8)
- Chakraborty, T., & Lee, X. (2019). Land Cover Regulates the Spatial Variability of Temperature Response to the Direct Radiative Effect of Aerosols. *Geophysical Research Letters*, 46(15), 8995–9003. doi: [10.1029/2019GL083812](https://doi.org/10.1029/2019GL083812)
- El Kenawy, A. M., Hereher, M. E., & Robaa, S. M. (2019) An Assessment of the Accuracy of MODIS Land Surface Temperature over Egypt Using Ground-Based Measurements. *Remote Sens*, 11 (20), 2369. doi: [10.3390/rs11202369](https://doi.org/10.3390/rs11202369)
- Favero, A., Mendelsohn, R., & Sohngen, B. (2017). Using forests for climate mitigation: sequester carbon or produce woody biomass? *Climatic Change*, 144 (2), 195–206. doi: [10.1007/s10584-017-2034-9](https://doi.org/10.1007/s10584-017-2034-9)
- Hu, C., Griffis, T. J., Lee, X., Millet, D. B., Chen, Z.C., Baker, J. M., & Xiao, K. (2018). Top-Down Constraints on Anthropogenic CO₂ Emissions within an Agricultural-Urban Landscape. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 123 (9), 4674–4694. doi: [10.1029/2017JD027881](https://doi.org/10.1029/2017JD027881)
- Kopach, P.I., Shapar, A.G., & Shvarcman, V.M. (2006). Technogenesis and acid rain. Naukova dumka: Kiev.
- Meier, R., Davin, E. L., Lejeune, Q., Hauser, M., Li, Y., Martens, B., Schultz, N. M., Sterling, S., & Thiery, W. (2018). Evaluating and improving the Community Land Model's sensitivity to land cover." *Biogeosciences*, 15(15), 4731–4757. doi: [10.5194/bg-15-4731-2018](https://doi.org/10.5194/bg-15-4731-2018)
- Moran, D., Kanemoto, K., Jiborn, M., Wood, R., Többen, J., & Seto, K. C. (2018). Carbon footprints of 13,000 cities. *Environmental Research Letters*, 13(6), Article 064041. doi: [10.1088/1748-9326/aac72a](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac72a)
- Pehl, M., Arvesen, A., Humpenöder, F., Popp, A., Hertwich, E. G., & Luderer, G. (2017). Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling. *Nature Energy*, 2(12), 939–945. doi: [10.1038/s41560-017-0032-9](https://doi.org/10.1038/s41560-017-0032-9)
- Plohinskij, N.A. (1970). Biometry. MGU: Moskow. (in Russian).
- Ponyatovskaya, V. M. (1964). Accounting for the abundance and peculiarities of the placement of species in natural plant communities. *Field Geobotany*, III, 209–210 (in Russian).
- Powell, J. T., Chertow, M. R., & Esty, D. C. (2018). Where is global waste management heading? An analysis of solid waste sector commitments from nationally-determined contributions. *Waste Management*, 80, 137–143. doi: [10.1016/j.wasman.2018.09.008](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.008)
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., & Schellnhuber, H. J. (2017). A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355 (6331), 1269–1271. doi: [10.1126/science.aah3443](https://doi.org/10.1126/science.aah3443)
- Shapar, A.G., Skripnik, O.A., & Bobyr, L.F. (2005). Activation of self-restoration of biogeocenoses of degraded lands of Kryvbas. *Visnik Dnipropetrovskogo derzhavnogo agrouniversitetu*, 1, 15–18.
- Shen, W., Qiu, J., & Dong, Z. (2018). Electricity network planning targeting Low-Carbon energy transition. *Global Energy Interconnection*, 1(4), 487–499. doi: [10.14171/j.2096-5117.gei.2018.04.009](https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.04.009)
- The information and technical handbook of the best available technology (2017). Byuro NTD, Moskow (in Russian).
- Tishin, D. V. (2011). Assessment of the productivity of forest stands. Kazanskij universitet: Kazan, 31 (in Russian).
- Toensmeier, E. (2017). Perennial Staple Crops and Agroforestry for Climate Change Mitigation. Springer International Publishing, 439–451. doi: [10.1007/978-3-319-69371-2-18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2-18)
- Vojtkevich, G. V., & Kokin, A. V. (1990). Geochemistry Handbook. Nedra: Moskow, 480 (in Russian).
- Wang, W., Lee, X., Xiao, W., Liu, S.D., Schultz, N., Wang, Y.W., Zhang, M., & Zhao, L. (2018). Global lake evaporation accelerated by changes in surface energy allocation in a warmer climate. *Nature Geoscience*, 11(6), 410–414. doi: [10.1038/s41561-018-0114-8](https://doi.org/10.1038/s41561-018-0114-8)
- Wilson, S. D., Schlaepfer, D. R., Bradford, J. B., Lauenroth, W. K., Duniway, M. C., Hall, S. A., Jamiyansharav, K., Jia, G., Lkhagva, A., Munson, S. M., Pyke, D. A., & Tietjen, B. (2018). Functional Group, Biomass, and Climate Change Effects on Ecological Drought in Semiarid Grasslands. *Journal of Geophysical Research-Biosciences*, 123(3), 1072–1085. doi: [10.1002/2017JG004173](https://doi.org/10.1002/2017JG004173)