

Член-кореспондент НАН України В. І. Лялько, Д. М. Мовчан

Визначення балансових складових CO_2 у формуванні парникового ефекту в Україні за даними багатоспектральних космічних зйомок

За допомогою методів дистанційного зондування Землі проведено розрахунок вуглецевого балансу для території України. На підставі багатоспектральних знімків MODIS визначено поглинальну здатність рослинного покриву в межах України. Отримані авторами дані було зіставлено з даними інвентаризації промислових викидів CO_2 .

Постановка задачі. Вивільнення вуглекислого газу внаслідок спалювання органічного палива, змін у землекористуванні та іншої діяльності людини призвело до значного порушення природного циклу вуглецю між сушею, атмосферою та океаном. Природний цикл С ще мало вивчений і тому потребує детальних досліджень. Застосування методів дистанційного зондування Землі значно покращує наші знання в цій галузі досліджень і допомагає краще зрозуміти процеси, які відбуваються в екосистемах та безпосередньо пов'язані з природним циклом вуглецю. Такі дослідження є важливими для визначення параметрів кліматичних моделей як на регіональному, так і на глобальному рівнях.

Теоретичні основи. При вивченні глобального циклу вуглецю слід виділити такі основні його компоненти: океанічний, наземний та атмосферний. Найбільшим резервуаром вуглецю є океан. Так, за оцінками роботи [1], у Світовому океані нагромаджено 38 000 Гт С, в той час як на суходолі лише 2000 Гт (1500 Гт — С ґрунту; 500 — С рослин), а в атмосфері — 730 Гт С. Причому особливістю даного циклу є те, що майже весь вуглець при переході з суходолу в океан, та навпаки, потрапляє через атмосферу. Тобто атмосферу можна розглядати як зв'язкову ланку.

Природний баланс С встановлювався протягом мільйонів років як результат еволюції нашої планети, і коливання в ньому були незначними. Проте в останні десятиріччя цей баланс порушився. Концентрація CO_2 в атмосфері почала інтенсивно збільшуватися, і більшість науковців пов'язують даний процес з активною діяльністю людини, що спричинило істотне зростання вмісту вуглекислого газу, зумовленого індустріальним забрудненням, в атмосфері. Діяльність людини впливає на цикл С як безпосередньо (при спалюванні органічного палива законсервованій природою вуглець вивільняється), так і опосередковано (через вирубку лісів, знищення природних екосистем), що, головним чином, значно знижує надходження CO_2 з атмосфери. З урахуванням того, що рослинний покрив є основним поглиначем вуглекислого газу, даний фактор є принаймні рівним, а, можливо, і більш істотним, ніж прямий вплив.

Так, за даними професора В. Г. Горшкова [2], витіснивши природні угруповання рослин і замінивши їх сільськогосподарськими угіддями, людина зменшила продукцію природної біоти на 10%, що дорівнює 50 Гт вуглецю, тобто $\sim 7\%$ загального вмісту його в атмосфері.

Збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері для рослин "корисне", але до певної міри. Надмірне зростання може мати негативні наслідки при інверсії зворотного зв'язку між біопродуктивністю та вмістом вуглекислого газу: з негативного в позитивний. Експериментальними дослідженнями доведено, що при збільшенні концентрації вуглекислого газу ріст

рослин спочатку прискорюється, а потім (при концентрації, що в 2 рази перевищує сучасну) рослини починають пригнічуватися, продуктивність рослинного покриву знижується.

Даний фактор потрібно враховувати особливо при оцінці кругообігу вуглецю біосфери в цілому. Не виключено, що при значному зростанні вмісту вуглекислого газу в атмосфері продуктивність рослин почне знижуватися, і, як результат, прискориться зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері, що призведе до ще більшого зниження їх біопродуктивності. А це зумовить подальше його зростання. Процес “саморозкручується”, а біосфера втрачає стійкість (за модельними розрахунками [3], це припадає на період між 2050 та 2100 рр.).

Отже, на сьогодні актуальною проблемою залишається визначення показників балансу вуглецю з метою з’ясування тенденцій, які відзначаються в рослинному покриві України.

Для розрахунку балансу CO_2 в атмосфері нам необхідно визначити дві складові: надходження CO_2 в атмосферу внаслідок антропогенної діяльності, та зворотний процес поглинання CO_2 рослинним покривом. Додатковою характеристикою, зумовленою антропогенним впливом на рослинність, є біотична компенсація цього впливу. Її можна описати таким чином. Нехай i_1 — величина, що характеризує вилучення людиною природної продукції (тС/рік); i_2 — величина поглинання рослинністю антропогенного CO_2 (тС/рік). Компенсація вилучення біопродукції (s) визначається різницею вказаних вище потоків [3]:

$$s = i_2 - i_1, \quad (1)$$

при $s > 0$ спостерігається компенсація з надлишком, а при $s < 0$ — лише часткова.

Для розрахунку i_1 приймається, що антропогенне вилучення продукції (у регіонах, країнах і світі в цілому) пропорційне чисельності населення:

$$i_1 = aN, \quad (2)$$

де a — стала величина.

Глобальна продуктивність рослинності Землі $I_\Sigma = 65,5$ ГтС/рік [3], а загальне використання біопродукції людиною становить близько 10% цієї величини. Тоді для світу в цілому маємо $i_1 = 0,1I_\Sigma = 6,55$ ГтС/рік, населення Землі $N \approx 6 \cdot 10^9$ осіб. З формулою (2) отримуємо $a \approx 1,0$ тС/осіб за рік. Використовуючи ці дані, за формулою (1) розраховуємо величину s .

Стійкість біосфери відносно антропогенних викидів CO_2 залежить від значення:

$$r = i_2 - i_3, \quad (3)$$

де i_3 — величина антропогенних викидів (тС/рік).

При $r > 0$ рослинність даного регіону поглинає не тільки всі викиди CO_2 цього регіону, а й частину викидів інших регіонів. Навпаки, при $r < 0$ потужностей рослинності регіону недостатньо для поглинання всіх викидів CO_2 у ньому.

Для розрахунку вуглецевого балансу для території України дані антропогенних викидів, а також дані про площі основних типів рослинного покриву областей України брали з роботи [4]. На основі інтерпретації супутникових знімків MODIS [5] та даних продукту MOD17 було отримане значення ефективності поглинання вуглецю різними типами земного покриву.

Результати та їх обговорення. Графічне зображення співвідношення промислових викидів CO_2 до його поглинання рослинністю для областей України у 2000 р. ілюструє рис. 1.

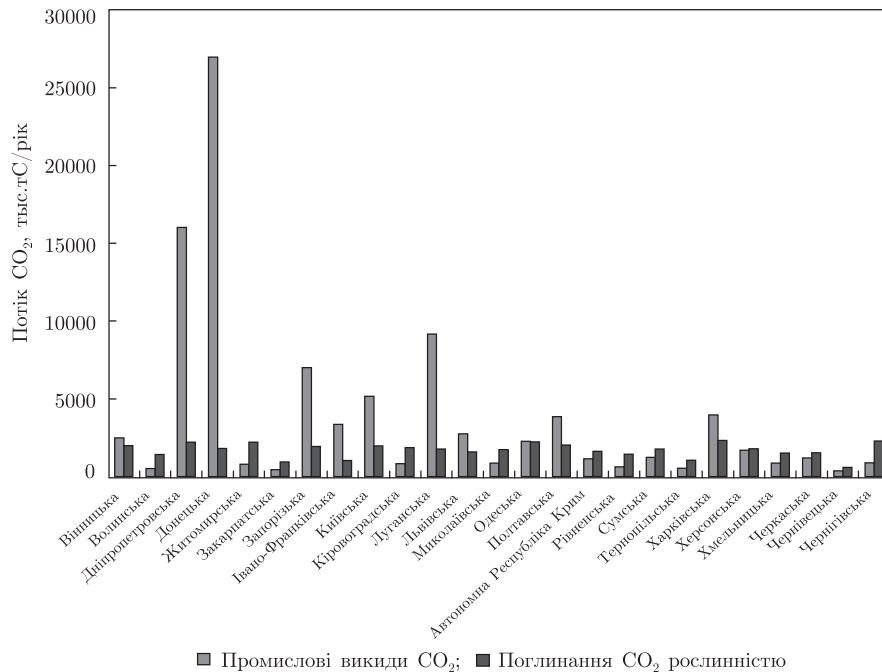


Рис. 1. Співвідношення викиди — поглинання CO₂ для областей України

Як видно з наведених результатів, у 14 областях України спостерігається незначне переважання поглинання CO₂ над його промисловими викидами. Це переважно області західного та північного регіонів України, які мають значну площу “заліснення” та низький рівень розвитку промисловості. Так, “лідерами” в поглинанні CO₂ можна назвати Житомирську, Волинську та Чернігівську області, де переважає поглинання над викидами на рівні 174 тис. т CO₂/км² за рік, 162 тис. т CO₂/км² за рік та 160 тис. т CO₂/км² за рік відповідно. А такі промислово розвинені області, як Донецька, Дніпропетровська й Луганська, є “лідерами” за промисловими викидами CO₂ (відповідно 3477, 1586, 1016 тис. т CO₂/км² за рік). Сумарне значення для України в цілому показує, що для неї характерним є здебільшого промислові викиди, ніж поглинання CO₂ приблизно в 2 рази, що становить 319 тис. т CO₂/км² за рік.

Результати розрахунків вуглецевого балансу для території України та біотичної компенсації антропогенного впливу на 2000 р. наведено в табл. 1, в якій відзначається чітка залежність між біотичною компенсацією та чисельністю населення: чим більша густина населення, тим складніше природному середовищу відновлювати свої ресурси. Діаграма, зображена на рис. 2, показує, що виділяються чотири групи областей: I $s > 0, r > 0$; II $s > 0, r < 0$; III $s < 0, r > 0$ й IV $s < 0, r < 0$.

В областях групи I відбувається компенсація як вилучення біопродукції, так і антропогенних викидів CO₂ (Волинська, Житомирська, Кіровоградська, Миколаївська, Рівненська, Сумська, Херсонська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська). У групі II має місце лише компенсація вилучення біопродукції (Вінницька, Запорізька, Полтавська), в групі III — лише промислових викидів CO₂ (Закарпатська, Автономна Республіка Крим, Тернопільська, Чернівецька), а в IV — компенсація обох антропогенних процесів не відбувається (Дніпропетровська, Донецька, Івано-Франківська, Київська, Луганська, Львівська, Одеська, Харківська).

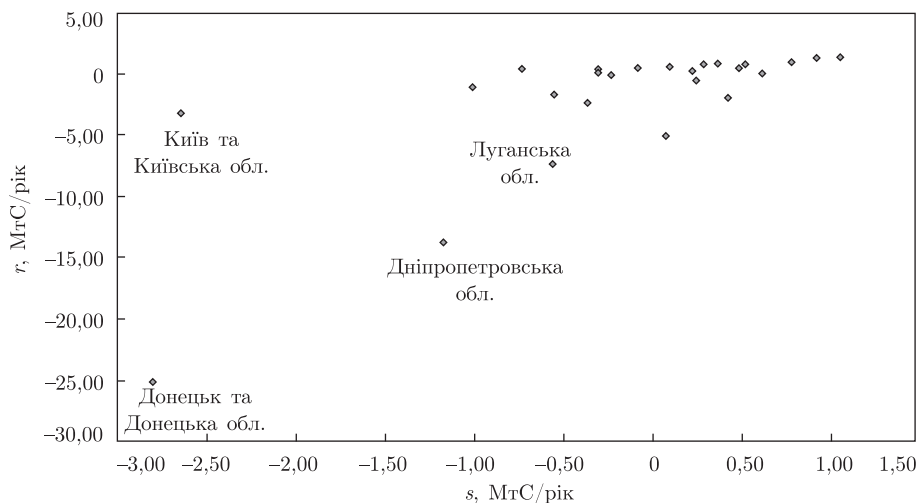


Рис. 2. Діаграма $s - r$ для областей України

Таблиця 1. Характеристики викидів та поглинання CO_2 , компенсації антропогенних процесів та біосферної ренти областей України за 2000 р.

Область	Поглинання екосистемами i_2 , тС/рік	Викиди CO_2 i_3 , тС/рік	Населення, млн осіб	Густина населення, осіб/км ²	$s = i_2 - i_1$, тС/рік	$r = i_2 - i_3$, тС/рік
Вінницька	2002757,5	2500134,5	1763944	66,53	238813,5	-497377,1
Волинська	1417738,9	525264,5	1057214	52,49	360524,9	892474,4
Дніпропетровська	2218759,6	16019277,3	3395227	106,39	-1176467,4	-13800517,6
Донецька	1817566,1	26961362,7	4622900	174,34	-2805333,9	-25143796,6
Житомирська	2212453,6	794552,7	1299000	43,54	913453,6	1417900,9
Закарпатська	942131,5	450294,5	1254614	98,19	-312482,5	491836,9
Запорізька	1946094,0	6996270,0	1877200	69,07	68894,0	-5050176,0
Івано-Франківська	1030790,2	3362893,6	1406129	100,96	-375338,8	-2332103,5
Київська	1964598,0	5167270,9	4611084	163,91	-2646486,0	-3202672,9
Кіровоградська	1855407,5	828501,8	1085700	44,16	769707,5	1026905,7
Луганська	1777561,4	9171117,3	2344200	87,85	-566638,6	-7393555,9
Львівська	1583584,4	2753023,6	2591579	118,70	-1007994,6	-1169439,3
Миколаївська	1743732,3	879095,5	1229500	49,98	514232,3	864636,8
Одеська	2237452,9	2269006,4	2469000	74,12	-231547,1	-31553,5
Полтавська	2037104,5	3851588,2	1621207	56,39	415897,5	-1814483,7
Автономна Республіка Крим	1619433,0	1137242,7	2357900	90,41	-738467,0	482190,3
Рівненська	1445021,2	627250,9	1160700	57,90	284321,2	817770,3
Сумська	1777714,4	1240270,9	1296763	54,41	480951,4	537443,5
Тернопільська	1048524,8	538827,3	1138500	82,33	-89975,2	509697,5
Харківська	2333949,3	3971140,9	2895813	92,18	-561863,7	-1637191,6
Херсонська	1785283,4	1704600,0	1172689	41,20	612594,4	80683,4
Хмельницька	1514400,8	880791,8	1426649	69,16	87751,8	633609,0
Черкаська	1529664,3	1212810,0	1315500	62,94	214164,3	316854,3
Чернівецька	594219,0	365492,7	904900	111,76	-310681,0	228726,3
Чернігівська	2283028,6	890648,2	1236065	38,79	1046963,6	1392380,5
Всього по Україні	42718971,0	95098729,1	47533977	80,31	-4815006,0	-52379758,1

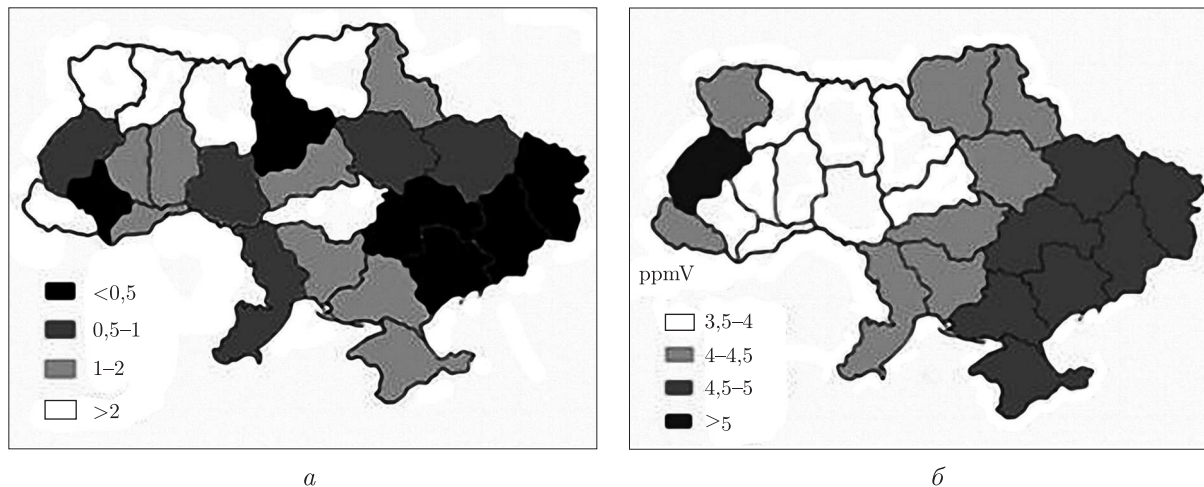


Рис. 3. Біотична компенсація антропогенного впливу для областей України: *а* — співвідношення поглинальної здатності CO_2 рослинності до промислових викидів; *б* — зростання концентрації CO_2 в атмосфері в період 2003–2005 рр., за даними приладу SCIAMACHY

Отримані за допомогою приладу SCIAMACHY фактичні дані зростання концентрації CO_2 в атмосфері в межах території України [6] було зіставлено з нашими результатами (рис. 3). При порівнянні рисунків *а* і *б* можна бачити, що над областями, які є найбільшими джерелами промислового CO_2 , в останні роки спостерігається більш інтенсивне зростання концентрації CO_2 в атмосфері. Зокрема, це стосується південно-східного промислового регіону, де надзвичайно розвинена гірничо та металургійна промисловості, а також західного промислового регіону (Львівська, Івано-Франківська області), де розвинена нафтогазопереробна промисловість. Потрібно також враховувати й особливості переносу та переміщення повітряних мас, внаслідок чого частина викидів припадає на інші регіони. Так, стрімке зростання концентрації CO_2 в атмосфері над Львівською областю важко пояснити лише кількістю промислових викидів, оскільки вони значно менші в порівнянні з, наприклад, Донецькою або Дніпропетровською областями, де зростання концентрації CO_2 в атмосфері відбувається не так інтенсивно.

Таким чином, автори даного повідомлення дали оцінку для основних потоків CO_2 та провели розрахунок вуглецевого балансу в межах території України. З отриманих результатів можна зробити такі висновки: для території України характерним є перевага промислових викидів CO_2 над його поглинанням рослинним покривом приблизно в 2 рази; основні джерела промислового CO_2 — південно-східний та західний промислові регіони України; простежується певна закономірність локалізації зон найбільш інтенсивного зростання концентрації CO_2 над промислово розвиненими регіонами; значній частині території України характерна негативна біотична компенсація антропогенного впливу, а це значить, що природне середовище не встигає відновлювати свої ресурси.

1. Malhi Y. Carbon in the atmosphere and terrestrial biosphere in the 21st century // Phil. Trans. Royal Soc. A. – 2002. – **360**, No 1801. – P. 2925–2945.
2. Горшков В. Г., Дольник В. Р. Энергетика биосферы // Успехи физ. наук. – 1980. – **131**, № 3. – С. 441–478.
3. Бушувев В. В., Голубев В. С., Тарко А. М. Индикаторы социоприродного развития российских регионов. – Москва: ООО “ИАЦ Энергия”, 2004. – 96 с.

4. Бунь Р. А., Густі М. І., Дачук В. С., Кужій Л. І., Олексів Б. Я, Стрямець Г. В., Стрямець С. П., Токар О. Є., Цимбрівський Я. Б. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Під ред. Р. А. Буня. – Львів: Укр. акад. друкарства, 2004. – 376 с.
5. Мовчан Д. М. Можливості використання даних супутникових зйомок MODIS для оцінки продуктивності різних видів рослинності та потоків CO₂ у системі рослинність – атмосфера (на прикладі території України) // Доп. НАН України. – 2008. – № 8. – С. 108–112.
6. Лялько В. І., Артеменко І. Г., Жолобак Г. М. та ін. Дослідження впливу змін CO₂ та CH₄ в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок // Геол. журн. – 2007. – № 4. – С. 7–16.

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України, Київ

Надійшло до редакції 26.12.2008

Corresponding Member of the NAS of Ukraine **V. I. Ljalko, D. M. Movchan**

Balance computation of CO₂ compound for estimation of the greenhouse effect for Ukraine with application of multispectral remote sensing data

The paper presents an attempt to estimate the carbon budget for the territory of Ukraine with application of remote sensing approaches. The analysis of the absorption capability of the vegetation covering of Ukraine on the basis of MODIS multispectral satellite images has been done. Output data are compared with inventory data of industrial emissions of CO₂.