

СЕКЦІЯ 6. ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Горбачук В. М.

*доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України*

Кошулько А. І.

*кандидат геолого-мінералогічних наук,
старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України*

Сирку А. А.

*аспірант
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України
м. Київ, Україна*

ДО ПРИРОДНИХ ОБМЕЖЕНЬ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Одними з перших на природні обмеження економічної діяльності звернули увагу основоположник системної динаміки Джей Форрестер [1] та його учні. Д.Форрестер, під керівництвом якого було розроблено перший комп'ютерний тренажер пілота і перший у світі станок з числовим програмним управлінням, поглянув на планетарну систему як деяку кібернетичну систему. Д.Форрестер також керував лабораторією Лінкольна (м. Лексингтон) Массачусетського інституту технологій (м. Кембридж) під час розробки нею перших комп'ютерних мереж, які передували сучасному Інтернету. Починаючи з 2012 р., кафедра фінансів Києво-Могилянської академії (КМА) бере участь у спільному з Університетом м. Берген (Норвегія) проєкті із системної динаміки. У рамках проєкту у 2015 р. аспіранти кафедри, викладачі КМА й Університету м. Берген взяли участь у 33-й щорічній міжнародній конференції з системної динаміки (м. Бостон), де мали можливість спілкування з Д.Форрестером.

Визначення та вимірювання планетарних кордонів, які не мають порушуватися, може допомогати людству запобігати неприйнятних змін довкілля. Вихід за певні біофізичні межі може вести до катастрофічних наслідків для людства. Спричинена 30 років тому соціально-економічними факторами Чорнобильська катастрофа біля Київського водосховища, звідки надходить вода до столиці України, змінила не лише екологічну, але й політичну карту світу. У роботі [2] показано, що принаймні три з дев'яти взаємозв'язаних планетарних кордонів вже порушено, і запропоновано новий підхід до визначення передумов успішного людського розвитку.

Хоча Земля зазнавала багато періодів істотних змін навколишнього середовища, попередні 10 тисяч років були порівняно стабільними [3–5]. Цей період стабільності, відомий у геології як Голоцен, уможливив появу, розвиток і процвітання людських цивілізацій. Однак зараз така стабільність може бути під загрозою. Починаючи з

Першої промислової революції, постала нова ера – Антропоцен, в якій людська діяльність стала основною рушійною силою глобальних змін довкілля. Під час Антропоцену людська діяльність виштовхує Земну систему за межі стабільного стану довкілля Голоцену з наслідками, які шкідливі чи руйнівні для великих частин світу.

Під час Голоцену зміни довкілля відбувалися природним чином, а регуляторна здатність Землі підтримувала умови, що дозволяли людству розвиватися: прісна вода вважалася питною, а нормальні температури й біогеохімічні потоки перебували у межах відносно вузьких діапазонів. Тепер, здебільшого внаслідок швидко зростаючої опори на викопні палива та індустріалізовані форми сільського господарства, людська діяльність сягає рівня, який може зашкодити системам, які підтримують Землю у бажаному стані Голоцену. Результат цієї діяльності може вести до незворотних та інколи раптових змін довкілля, до стану, менш сприятливого для розвитку людства. Без втручання людей Голоцен мав би тривати ще принаймні кілька тисяч років.

Щоб впоратися з викликом підтримки стану Голоцену, пропонується підхід, оснований на так званих планетарних кордонах. Ці кордони визначають безпечний операційний простір для людства відносно Земної системи і пов'язуються з біофізичними підсистемами чи процесами планети. Хоча складні системи Землі деколи плавно реагують на змінювані антропогенні тиски, таке видається радше винятком, ніж правилом. Багато підсистем Землі реагують нелінійно й нерідко різко на такі тиски, а біля порогових рівнів певних ключових змінних є надзвичайно чутливими. Якщо перейти ці пороги, то такі важливі підсистеми, як мусонна система, можуть зсунутися до нового стану, що часто має небезпечні чи потенційно катастрофічні наслідки для людей. Однією з причин стримування масштабного застосування ядерної зброї є так звана ядерна зима. Можливі наслідки зміни системи течії Гольфстрім показані у фільмі «The day after tomorrow», який мав бюджет 125 млн. дол. і вийшов у прокат у 2004 р. Про те, що ця система дійсно змінюється, свідчить здійснений у 2016 р. 32-добовий круїз судна «Crystal serenity», розрахованого на 1070 пасажирів, з Аляски до Нью-Йорка через колись льодовиті арктичні моря Канади. Норвезький капітан провів це судно морським шляхом свого співвітчизника Роальда Амундсена (1872–1928), а кожний пасажир судна пройшов морський шлях, який для першопроходця потребував років (ціна квитка за цей круїз становила від 22 до 120 тис. дол.).

Більшість зазначених порогів можна визначати критичним значенням для однієї чи більше управляючих змінних, наприклад, концентрацією двоокису вуглецю. Не всі процеси чи підсистеми на Землі мають чітко визначені пороги, позаяк людська діяльність, яка підриває здатність до відновлення таких процесів або підсистем (наприклад, через погіршення якості води і ґрунту), може збільшувати ризик того, що ці пороги будуть також перейдені в інших процесах, скажімо, кліматичних процесах.

Слід шукати процеси Земної системи і відповідні пороги, перетин яких може породжувати неприйнятні зміни довкілля. У роботі [2] знайдено дев'ять процесів, для яких треба визначати планетарні кордони: 1) зміна клімату, яку вимірюють 1.1) концентрація двоокису вуглецю (частинок на мільйон за об'ємом (parts per million by volume, ppmv) в атмосфері) та 1.2) радіаційний вплив (ватт на квадратний метр); 2) рівень втрати біорізноманіття (на суходолі та в океані), який вимірює темп вимирання (число видів на мільйон видів за рік); 3) втручання в азотні та фосфорні цикли, яке вимірюють 3.1) обсяг азоту, видалений з атмосфери і перетворений у хімічно активний азот для потреб людей (мільйонів тонн за рік), та 3.2) обсяг фосфору, що стікає в океан (мільйонів тонн за рік); 4) вичерпання стратосферного озону, яке

вимірює концентрація озону (в одиницях Добсона); 5) окислення океану, яке вимірює глобальний середній стан насичення арагонітом у поверхневих морських водах; 6) глобальне використання прісної води, яке вимірює споживання прісної води людьми (кубічних кілометрів за рік); 7) зміна землекористування, яку вимірює відсоток глобальної земної поверхні, перетвореної на ріллю; 8) хімічне забруднення, яке має вимірювати, наприклад, обсяг викидів, концентрація постійних органічних забруднювачів, пластиків, порушників ендокринної системи, важких металів, ядерних відходів у глобальному навколишньому середовищі або вплив на загальну екосистему і функціонування у ній Земної системи; 9) аерозольне навантаження на атмосферу, яке має вимірювати загальна концентрація частинок в атмосфері за регіонами (параметри процесів 8) і 9) не вимірювалися).

Загалом планетарні кордони є величинами для управляючих змінних, які перебувають на безпечних відстанях від порогів (для процесів, що виявляють порогову поведінку) або на небезпечних відстанях від порогів (для процесів, що не виявляють порогової поведінки). Визначення безпечної відстані передбачає нормативні судження про те, як суспільства вибирають способи врахування ризику й невизначеності. Беручи до уваги великі невизначеності навколо істинного положення багатьох порогів, для оцінювання кордонів можна виходити з консервативного підходу ухилення від ризику [2]:

| Параметр процесу | Доіндустріальний рівень | Поточний рівень | Пропонований кордон |
|------------------|-------------------------|-----------------|---------------------|
| 1.1) | 280 | 387 | 350 |
| 1.2) | 0 | 1.5 | 1 |
| 2) | <1 | >100 | 10 |
| 3.1) | 0 | 121 | 35 |
| 3.2) | 1 | <9.5 | 11 |
| 4) | 290 | 283 | 276 |
| 5) | 3.44 | 2.90 | 2.75 |
| 6) | 415 | 2600 | 4000 |
| 7) | <1 | 11.7 | 15 |

Як видно з вищенаведених оцінок, кордони для параметрів процесів 1.1), 1.2), 2), 3.1), 4), 5) уже перейдені. Незабаром людство може наблизитися до кордонів за рештою параметрів процесів 3.2), 6), 7). Якщо значення параметрів процесів 2) і 3.1) залишатимуться на поточному рівні, то це руйнуватиме здатність до відновлення компонентів функціонування Земної системи.

Очевидні антропогенні кліматичні зміни стали предметом 15-ї сесії Конференції сторін Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату та 5-ї сесії Конференції сторін – зустрічі сторін Кіотського протоколу у 2009 р. (м. Копенгаген, Данія), де розгорнулися міжнародні дискусії з цільових показників для зменшення впливу на клімат. Все більше експертів схилилися до думки про максимальне допустиме глобальне потепління на 2°C відносно доіндустріального рівня. Для цього розвинені держави планували асигнувати 130 млрд. дол. за період 2010–2020 рр.

Література:

1. Форрестер Д., Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). – М.: Прогресс, 1970. – 340 с.

2. Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson A., Chapin F. S. III, Lambin E. F., Lenton T. M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H. J., Nykvist B., de Wit C. A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sorlin S., Snyder P. K., Costanza R., Svedin U., Falkenmar M., Karlberg L., Corell R. W., Fabry V. J., James Hansen J., Walker B. Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. A. A safe operating space for humanity // *Nature*. – 2009. – V. 461. – P. 472–475.
3. Dansgaard W., Johnsen S. J., Clausen H. B., Dahl-Jensen D., Gundestrup N. S., Hammer C. U., Hvldberg C. S., Steffensen J. P., Svelnbjornsdottir A. E., Jouzel J., Bond G. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record // *Nature*. – 1993. – V. 364. – P. 218–220.
4. Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davisk M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V. M., Legrand M., Lipenkov V. Y., Lorius C., Pepin L., Ritz C., Saltzmark E., Stievenard M. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*. – 1999. – V. 399. – P. 429–436.
5. Rioual P., Andrieu-Ponel V., Rietti-Shati M., Battarbee R. W., de Beaulieu J.-L., Cheddadi R., Reille M., Svobodova H., Shemesh A. High-resolution record of climate stability in France during the last interglacial period // *Nature*. – 2001. – V. 413. – P. 293–296.