



УДК 004.94+630+32.019.51+316.33

# МОДЕЛІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІТИК ПОМ'ЯКШЕННЯ ЗМІНИ КЛІМАТУ

І. А. ОХРЕМЧУК, аспірант  
НУ "Львівська політехніка"

E-mail: inna.a.okhremchuk@lpnu.ua

Проаналізовано глобальні сценарії, розроблені Міжурядовою групою експертів з питань змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) та структуру комплексної оцінки сценаріїв Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (The International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA). Розглянуто основні принципи оцінки сценаріїв за допомогою моделей інтегральної оцінки та розробки і моделювання політик пом'якшення зміни клімату. Зазначено можливості покращення моделей комплексної оцінки для моделювання зміни клімату.

*Ключові слова:* моделі комплексної оцінки, МГЗЕК, сценарії, моделювання політик, зміна клімату

**Вступ.** Глобальна зміна клімату є проблемою усього людства над вирішенням якої працюють десятки тисяч науковців, політиків, міжнародних організацій, громадських діячів та активістів. З ініціативи Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища у 1972 році та рішенням Генеральної Асамблеї ООН 1973 року була заснована міжурядова Програма ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) (United Nations Environment Programme (UNEP)). У 1988 році за участі Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) (World Meteorological Organization (WMO)) та ЮНЕП була заснована Міжурядова група з питань зміни клімату (МГЗЕК) (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)).

Основними цілями роботи МГЗЕК є оцінка всієї можливої технічної, наукової та соціально-економічної інформації щодо зміни клімату та наслідків спричинених такими змінами, вироблення та оцінка аль-

тернативних варіантів розвитку подій, інформаційне забезпечення осіб відповідальних за прийняття рішень з приводу політик пом'якшення та адаптації до зміни клімату. На основі опрацьованої інформації МГЗЕК публікує доповіді, що містять деталізовану інформацію стосовно поточного стану та прогнозу зміни клімату, а також оцінки впливів на життя людей та інших живі екосистеми. Перша доповідь МГЗЕК була випущена у 1990 році, друга — 1995 році, третя — 2001 році, четверта — 2007 році і остання п'ята доповідь була випущена у 2014 році. У 2022 році планується закінчити роботу над шостою доповіддю, де також буде підведений підсумок по досягненню цілі не допущення підвищення температури Землі більше, ніж на 1,5-2 °C [5].

## Сценарії МГЗЕК

МГЗЕК у своїх доповідях представляє різні альтернативні варіанти розвитку подій, так звані сценарії та їх оцінку з погляду на

Науковий керівник - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Микола Густі

більш або менш ймовірний хід подій. Сценарії оцінюються за допомогою моделей комплексної оцінки, які проводять кількісну оцінку розроблених сценаріїв. Донедавна використовувалися SRES сценарії (Special Report on Emissions Scenarios), де основними чинниками, що впливають на концентрацію парникових газів в атмосфері були:

- 1) демографічні зміни;
- 2) економічний розвиток;
- 3) технологічні зміни;
- 4) політики та стратегії адаптації до кліматичних змін [6].

Проте актуальними на даний час є SSPs (The shared socio-economic pathways), RCPs (Representative Concentration Pathways) та SPA (Shared climate Policy Assumptions). SSPs являють собою траєкторії розвитку людства, світу загалом. Їх ключовими елементами є:

- А) чисельність населення;
- Б) валовий внутрішній продукт (ВВП);
- В) припущення щодо використання енергії та земель;
- Г) траєкторії урбанізації.

SSPs є водночас і описовими, і кількісними. Спочатку, розробляється базовий сценарій (при заданих тенденціях, без внесення змін), де вплив кліматичних змін не є дуже значним. Такий принцип дозволяє формувати SSPs відокремлено від прогнозів зміни клімату.

RCPs являють собою прогноз викидів парникових газів. SPA стосуються імплементації політик пом'якшення зміни клімату та адаптації до негативних змін клімату. RCPs дає інформацію лише щодо зростання чи спадання кількості викидів, а SPA вже оперує інформацією де і в яких регіонах, як жорстко, в яких секторах/сферах необхідно приймати міри для їх зниження. Таким чином між RCPs та SPA існує обернена залежність.

Для того, щоб побудувати альтернативні сценарії розвитку подій, використовуються різні комбінації SSPs/ RCPs, RCPs



Рис.1 Взаємозв'язок SSPs, RCPs, SPA [7]

/SPA. Таким чином можна проаналізувати як той чи інший рівень викидів парникових газів вплине на людство та які заходи будуть необхідні для ліквідації негативних змін. Це можна зобразити наступною умовною схемою:

### Моделі комплексної оцінки

Для обрахунку глобальних сценаріїв, а саме їх кількісних параметрів, використовуються моделі комплексної або інтегральної оцінки, які є широко використовуваними під час аналізу глобальної зміни клімату, оцінці впливу зміни клімату на життя та здоров'я людей, безперешкодне функціонування різних екосистем та моделювання політик пом'якшення або політик адаптації до змін клімату. Вони включають в себе взаємопов'язаний ланцюг – навколишнє середовище-економіка-суспільство [1]. Комплекс моделей інтегральної/комплексної оцінки Інституту прикладного і системного аналізу (IIASA) використовуються для оцінки сценаріїв МГЗЕК (рис.2):

Комплекс моделей інтегральної/комплексної оцінки Інституту прикладного і системного аналізу складається із п'яти взаємопов'язаних моделей (рис. 2). Модель MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact) використовується для побудови середньострокових та довгострокових стратегій у галузі енергетики. Модель являє собою взаємопов'язану структуру

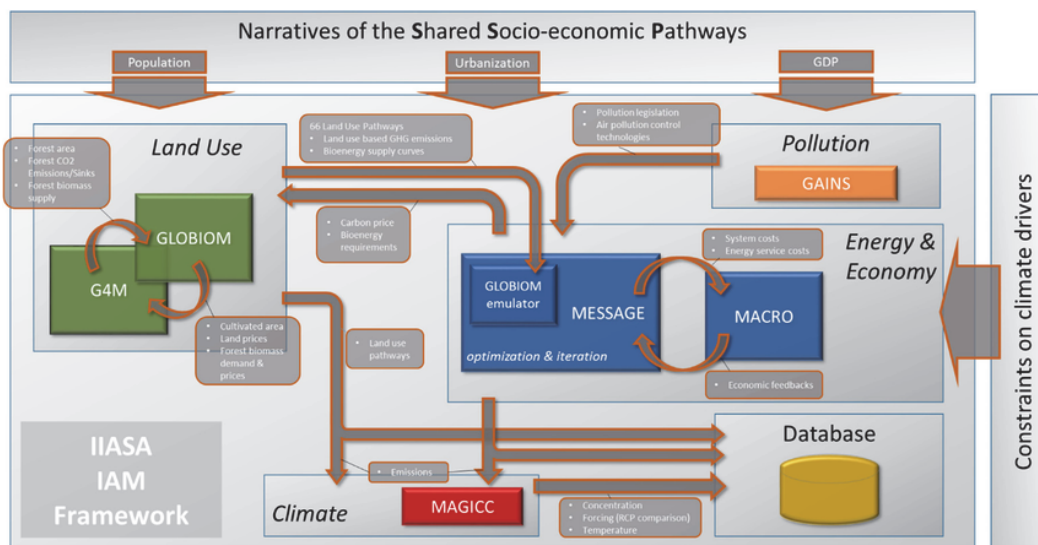


Рис. 2 Комплекс моделей для інтегральної оцінки IIASA

енергетичної системи: видобуток ресурсів, імпорт, експорт, зберігання, транспортування, розподіл, надання послуг кінцевому споживачу. Також модель надає інформацію щодо того як використовуються місцеві ресурси, інвестиційні вимоги, грошові потоки від експорту, імпорту, викиди забруднюючих речовин, процеси заміщення палива. Відповідно до регіону, використовуючи всі можливі енергетичні канали, MESSAGE, мінімізуючи витрати енергетичної системи та відповідно до встановлених обмежень визначає скільки наявних ресурсів та технологій потрібно для задоволення попиту кінцевого споживача.

З рисунку 2 видно, що MESSAGE використовується разом із/в симбіозі з MACRO. Модель MACRO максимізує інтемпоральну функцію корисності для однієї одиниці «виробник-споживач» у кожному регіоні світу, а також оцінює зв'язок між макро-економічним розвитком та споживанням енергії. Відповідно до цін на енергоносії, заданого ВВП та енергоємності ВВП, MACRO визначає попит на енергію. Оскільки зміни витрат та цін на енергоносії так само впливають

на ріст ВВП, вихідними даними моделі також є перерахований ВВП.

Спільне використання MACRO та MESSAGE виглядає наступним чином: використовуючи внутрішні ціни на енергоносії, витрати енергетичної системи з MESSAGE та прогноз попиту на енергію з MACRO, відбувається ряд ітерацій:

Визначення цін на енергоносії та витрати енергосистеми за допомогою MESSAGE, згідно визначеного попиту на енергію;

Використовуючи дані з ітерації №1 в MACRO обраховується їх вплив на ВВП та на попит на енергію, оптимальний розподіл факторів виробництва (енергія, робоча сила, капітал);

З новим скоригованим попитом на енергію з MACRO, знову виконується ітерація як і в кроці №1.

Коли результати обох моделей збігаються, тоді ітерації припиняються. Даний метод необхідний для обрахунку політичних сценаріїв, що передбачають торгівлю квотами.

MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change)

використовуючи викиди забруднюючих речовин з MESSAGE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, ЛОР, галогенвуглеводні) визначає їх концентрацію в повітрі, їх вплив на температуру повітря, рівень води в океані та радіаційний вплив [9].

Модель GAINS (The Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) використовується для прогнозування майбутніх викидів парникових газів у атмосферу. GAINS моделює і оцінює затрати на впровадження політик контролю викидів парникових газів (Рис. 3). GAINS оцінює вплив скорочення викидів на рівень забруднення атмосфери, навколишнє середовище та здоров'я людей (скорочення тривалості життя, рівень смертності). Заходи, що можуть бути введені задля зниження рівня викидів забруднюючих речовин — торгівля квотами, встановлення податку, заміна одного виду палива на інший, уловлювання викидів парникових газів тощо. На основі цих розрахунків є можливість обрати найбільш оптимальний, найменш затратний варіант [4].

GLOBIOM (The Global Biosphere Management Model) визначає найбільш економічно доцільний вид господарювання на заданій території (сільське господарство, лісове господарство або ж біоенергетика). Оцінка проводиться на основі таких макроекономічних показників як ВВП, збільшення/зменшення чисельності населення, попит на біоенергетику, деревину та продовольство, технологічний розвиток. Модель містить в собі базу геопросторових даних відносно типу ґрунту, клімату і рослинності [3].

Дані щодо попиту та цін на деревину, а також визначені зміни у землекористуванні з GLOBIOM використовуються в моделі G4M (The Global Forest Model). Ця модель порівнює дохід від різного типу використання земель, на основі чого приймається рішення про вид господарювання на окремих територіях (заліснення,

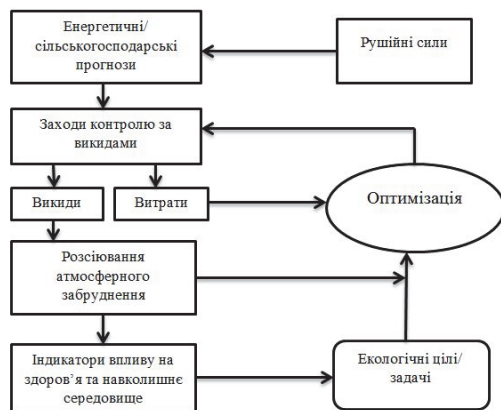


Рис. 3 Схема роботи моделі GAINS [4]

зніснення, сільське господарство). Серед урядових факторів представлені облікова ставка та корупція.

**Зміни до моделей комплексної оцінки.** Моделі комплексної оцінки є потужним інструментом для розробки політик пом'якшення зміни клімату. Однак, впровадження заходів пом'якшення наслідків зміни клімату або адаптації до змін клімату може бути різним в різних країнах та призводити до різних непередбачуваних результатів. Щоб зменшити цю невизначеність разом із економічними факторами та факторами навколишнього середовища, слід враховувати географічну, соціальну, політичну інформацію, що підвищить ефективність прийнятих рішень та політик пом'якшення клімату [1].

Важливість включення такої інформації до сучасних моделей зазначена багатьма авторами. Включення фактору якості інституцій до глобальної моделі лісу (G4M) дозволяє краще відтворити та пояснити тренди зніснення в минулому та спрогнозувати рівень зніснення в майбутньому. Коефіцієнт залишкового калібрування (residual calibration factor) в середньому вдалося зменшити на 43 % для періоду 2 000-2010 років та 46 % для періоду 2010 – 2015 років. Проте рівень



зменшення коефіцієнту залишкового калібрування по регіонам виявився різним. Найменший результат був для країн Східної Європи. Також відмінності присутні і в межах одного регіону. Наприклад, зменшення коефіцієнту залишкового калібрування для Індонезії становить 58 %, а для Малайзії – лише 22 %, що на думку авторів свідчить про те, що в Малайзії існують інші фактори, які являють собою коефіцієнт залишкового калібрування та впливають на рівень знеліснення [8].

На думку Хоувел рівень демократії та нерівності серед населення чинять безпосередній вплив на ефективність реалізації програм по збереженню лісів [12]. Грівін розробив агентну модель на основі ідеї, що в демократичній державі громадяни ініціюють зміни у законодавстві, зокрема щодо просування програм по збереженню навколишнього середовища [11].

Даніель Есті і Майкл Е. Портер провели регресійний аналіз на основі даних про забруднення повітря, споживання енергії, ВВП на душу населення, суворість екологічних норм, дотримання міжнародних угод і прийшли до висновку, що рівень екологічної ефективності сильно коре-

лює із рівнем доходів, однак існують інші вагомі фактори, що впливають на екологічну ефективність держави [2].

**Висновки.** Моделі комплексної оцінки дають достатньо детальну оцінку впливу викидів парникових газів на навколишнє середовище, передбачають наслідки від різних типів господарювання та є ефективним інструментом, який використовується для розробки політики пом'якшення змін клімату.

Проте існує необхідність кращого представлення соціально-політичних особливостей окремих країн. Існуючі дослідження про роль політичних інститутів важливо об'єднати та включити їх у математичну модель, оскільки дуже важливо визначити детермінанти, що впливають на ефективність імплементації політик пом'якшення зміни клімату, зрозуміти, які зміни слід робити поряд з модернізацією технологій та введенням податку на вуглець. Це дозволить знизити рівень невідповідності імплементації політик пом'якшення зміни клімату, зменшити витрати на реалізацію програм по збереженню навколишнього середовища та підвищити ефективність прийнятих рішень.

## References

1. A.J. Jakeman, R.A. Letcher. Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management / Environmental Modelling & Software. – 18 (2003). – 491–501.
2. Esty and Porter. National environmental performance: an empirical analysis of policy results and determinants // Environment and development economics. – Volume 10. – Issue 4. – August 2005. – pp.391-434.
3. GLOBIOM [Електронний ресурс] // The International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.globiom.org/>
4. Greenhouse Gas–Air Pollution Interactions And Synergies // Methodology. – November 2008.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ipcc.ch/>.
6. IPCC Special Report Emissions Scenarios // Intergovernmental Panel on Climate Change. – 2000.
7. IPCC Workshop on Socio-Economic Scenarios // Intergovernmental Panel on Climate Change. – Workshop Report. – Berlin, Germany. – 1-3 November 2010. сценарь нові
8. J.Wehkamp (2018) et. al. Accounting for institutional quality in global forest modeling // Environmental Modelling & Software 102 (2018) 250-259
9. MESSAGE [Електронний ресурс] // The International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/MESSAGE.en.html>



10. Oliver Fricko et al. The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century // Global Environmental Change. – 2016. – малюнок
11. Sebastiaan Greeven et al. The Emergence of Climate Change Mitigation Action by Society: An Agent-Based Scenario Discovery Study // Journal of Artificial Societies and Social Simulation 19(3) 9, 2016.
12. Signe Howell. Politics of appearances: Some reasons why the UN-REDD project in Central Sulawesi failed to unite the various stakeholders// Asia Pacific Viewpoint. – Volume 56. – Issue 1 April 2015. – Pages 37–47.
13. The Global Forest Model (G4M) [Електронний ресурс] // The International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/modelsData/G4M.en.html>

## SUMMARY

**I. Okhremchuk.** *Integrates assessment models for modeling of climate mitigation policies/ Biological Resources and Nature Managment.* – 2018. – 10, №1–2. – P.73–78.

*Based on all relevant socio-political information the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) develops base and alternative scenarios, which are used for developing climate mitigation policies. An Integrated Assessment models are used for quantitative evaluation of new IPCC scenarios (SSPs, RCPs, SPAs). The Integrated Assessment Models of the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) are used for assessment of IPCC scenarios. MESSAGE, G4M, GLOBIOM, MACRO, GAINS and MAGICC are used for forecasting and developing of climate mitigation policies in a field of air pollution, land use change and energy sector.*

**Keywords:** *Integrated Assessment Models, IPCC, scenarios, climate mitigation policies, climate change*

## АННОТАЦІЯ

**І. А. Охремчук.** *Моделі інтегральної оцінки для моделювання політик зменшення зміни клімату//Біоресурси і природопольовання.* – 2018. – 10, №1–2. – Р.73–78.

*Рассмотрены основные принципы построения и оценки сценариев социально-экономического развития и процесс моделирования политик смягчения воздействия изменений климата. Проанализированы глобальные сценарии, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) и структура интегральной оценки сценариев Международного института прикладного и системного анализа (The International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA). Указаны возможности улучшения моделей комплексной оценки для моделирования изменения климата.*

**Ключевые слова:** *моделі інтегральної оцінки, МГЭИК, сценарії, моделювання політик, змінення клімату*