**УДК 631.45; 641.47**

**ІНДИКАТОРИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ТА ОЦІНКА РОЗВИТКУ ДЕГРАДАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ**

**В.А. БОГДАНЕЦЬ, *к.с.-г.н., доцент кафедри геодезії та картографії,*** ***Національний університет біоресурсів і природокористування України,***

*E-mail:*v\_bogdanets@nubip.edu.ua

**В.Г. НОСЕНКО***,* ***к.с.-г.н., доцент кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім.проф. М.К. Шикули,******Національний університет біоресурсів і природокористування України***

*E-mail: nosenko416@ukr.net*

***Анотація****. У статті описано окремі з прийнятих ООН індикаторів сталого розвитку безпеки використання земель, пов'язаних із розвитком деградаційних процесів ґрунтів, розглянуто підходи до оцінювання розвитку деградацій ґрунтів з використанням інструментів математичного моделювання, а саме геоінформаційних моделей. Індикатор 15.3.1 цілей сталого розвитку відображає відношення площі деградованих земель до загальної площі земель оцінюваної території, а деградація за таких умов розглядається як інтегральний показник таких параметрів, як продуктивність земель, вміст органічної речовини ґрунту та тип використання земель. Встановлено, що при застосуванні даних дистанційного зондування, отриманих із відкритих джерел, які служать основою для розрахунку індексів деградацій земель для території Київської області, інструментом Trends.Earth, що використовується через інтерфейс геоінформаційної системи QGIS, можливо встановити такі зміни на рівні адміністративної області (масштаб карти 1:100000) та провести просторово-часовий аналіз таких змін. При цьому складно забезпечити вищу просторову точність, яка дозволила би провести аналіз на рівні окремого підприємства чи господарства. Це зумовлено особливостями даних, які служать основою для такого розрахунку.*

***Ключові слова:*** *цілі сталого розвитку, деградація ґрунтів, індикатори використання земель, геоінформаційні моделі, дані дистанційного зондування.*

**Актуальність.** Конвенцією по боротьбі з опустелюванням при Організації Об'єднаних Націй (UNCCD — United Nations Convention to Combat Desertification) запроваджено систему індикаторів (UNCCD, 2021), які дозволяють у глобальному масштабі оцінити стан сільськогосподарських земель та ризики розвитку деградаційних процесів унаслідок їх використання. Завдяки цьому можна провести просторово-часовий аналіз змін ґрунтового покриву, зокрема, змін вмісту органічного вуглецю, продуктивності ґрунту, змін у типі використання земель (рілля, лісовкриті площі, пасовища, водно-болотні угіддя, забудовані ділянки, водні поверхні тощо) як на глобальному рівні, так і для певної території (групи країн, країни чи її адміністративної одиниці).

Оскільки Україна приєдналася до Цільової програми із запобігання деградації земель ООН (Land Degradation Neutrality Target Setting Programme), то проведення такого аналізу на національному та локальних рівнях є бажаним і необхідним.

**Мета дослідження** — установити локалізацію процесів деградації земель Київської області за індикатором 15.3.1 цілей сталого розвитку засобами геоінформаційних систем, а саме модулю Trends.Earth програми QGIS, за період 2000-2019рр. (останні дані на момент написання статті), визначити основні причини та переважаючі напрями змін індикатора за даний проміжок часу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У розвиненому світі розроблення системи інтегральної оцінки стану земель та динаміки змін ґрунтового покриву давно привертає увагу науковців особливо у зв’язку із викликами останніх десятиліть, що пов’язані із глобальними змінами клімату та проблемою забезпечення продовольством населення планети (2030 Agenda for Sustainable Development, 2015). Показники такої оцінки найчастіше представлені індикаторами, які враховують комплекс широкого діапазону факторів і дозволяють проводити кількісний облік із відображенням тенденцій змін у випадку різних сценаріїв розвитку (Котикова О.І., 2017; Мар’янович М.Е., 2019; Ягодзінська А.С., 2020). Ряд авторів (Wessels K.J. et al., 2007; Prince, S.D.,2019; Федоров, О.П. та ін., 2019) розглядають дані дистанційного зондування Землі як надійне джерело оперативної інформації щодо окремих показників деградації ґрунтового покриву, зокрема і унаслідок процесів ерозії, забруднення, порушення родючого шару ґрунту, дегуміфікації тощо (Балюк С.А., Медведєв В.В., Захарова М.А., 2013; Коваленко А.О., 2018). Важливою в Україні публікацією такого напряму є праця колективу авторів із Інституту Космічних досліджень НАН України (Федоров, О.П. та ін., 2019). Зокрема, ці автори зазначають: “...очікується, що уряди країн світу сформують на основі цілей сталого розвитку національні плани та ініціативи відповідно до наявних можливостей, а цілі, завдання та індикатори глобального рівня будуть адаптовані відповідно до пріоритетів розвитку та безпеки країн.” Так, у Національній програмі досягнення цілей сталого розвитку сформульовано ціль 15, завдання 15.3: “Відновити деградовані землі та ґрунти з використанням інноваційних технологій”: у той же час, як зазначають автори, в нормативних документах кількісні характеристики рівня деградації земель відсутні як і поняття “нейтральний рівень деградації земель” (Федоров, О.П. та ін., 2019).

Обраний підхід дозволяє провести комплексне оцінювання змін ґрунтового покриву та визначити як напрямок досліджуваних процесів (деградація покращення стану), так і відобразити відповідні просторово-часові зміни ґрунтового покриву картографічно засобами геоінформаційних систем. У рамках “Порядку денного сталого розвитку на 2030 рік” ціль сталого розвитку (ЦСР) №15 полягає у: “Захищати, відновлювати та сприяти сталому використанню наземних екосистем, стійкому управлінню лісами, боротьбі з опустелюванням, зупинці та зворотній деградації земель та зупиненню втрати біорізноманіття”. Завдання 15.3 має на меті: “До 2030 року боротися з опустелюванням, відновлювати деградовані землі та ґрунти, включаючи землі, що постраждали від опустелювання, посухи та повені, та прагнути досягти нейтрального рівня деградації земель”. (FAO, 2018; Knowledge Products and Pillars. UNCCD, 2021; Trends.Earth. SDG indicator 15.3.1. description, 2021). Серед розроблених цією організацією індикаторів особливої уваги для цілей наших досліджень заслуговує Індикатор 15.3.1., який відображає частку земель, що деградують, до загальної площі земель. Середній показник по Україні складає 25% (Land Portal Interactive map, 2021).

**Матеріали та методи досліджень.** Конвенція ООН із боротьби з опустелюванням (UNCCD, 1994) визначає деградацію земель як *"зменшення або втрату біологічної чи економічної продуктивності культур, вирощуваних без зрошення або на зрошуваних земельних ділянках, пасовищ, лісів та лісових масивів, що виникають в результаті поєднання несприятливих факторів, включаючи особливості практик використання земель та управління ними"* (UNCCD 1994, стаття 1). Згідно з цим визначенням, ступінь деградації земель для подання звітності за Індикатором 15.3.1 обчислюється як бінарне (погіршене / не погіршене) кількісне визначення з використанням його трьох субпоказників (рис. 1), а саме:

* тенденції зміни типу земельного покриву;
* тенденції зміни продуктивності земель,
* тенденції зміни запасів органічного вуглецю в ґрунті.

Власне, при розрахунку індикатора будь-яке суттєве зменшення або негативна зміна одного з трьох субпоказників вважається деградацією земель. Позитивна зміна показника оцінюється як покращення стану земель.



**Рис. 1 Фактори, що враховуються при розрахунку індикатора 15.3.1. (за UNCCD, 2021)**

Показник дозволяє окремим країнам кількісно та якісно оцінити ступінь деградації земель. Ця оцінка корисна не тільки для національної звітності до комісій ООН та звітності за показником 15.3.1, але також і для відстеження прогресу у напрямку до добровільних цілей нейтралітету з деградації земель (Land Degradation Neutrality) та для розробки планів дій щодо подолання деградації, у тому числі шляхом збереження, сталого управління, рекультивації, відновлення та охорони земельних ресурсів (Trends.Earth. SDG indicator 15.3.1. description, 2021).

Конвенція ООН із боротьби з опустелюванням (UNCCD) є установою-зберігачем Індикатору цілей сталого розвитку 15.3.1. Інформація про цей показник регулярно збирається цією установою через національний процес звітування та перегляду з 2018 року, кожні чотири роки. Ці дані доступні на сайті організації unccd.int. Конвенція ООН із боротьби з опустелюванням (UNCCD) також є тим відомством, що керує міжвідомчою консультативною групою для подальшого вдосконалення методології та інструментів / варіантів даних індексу 15.3.1, до складу якої входить ключовий партнер ФАО, а також Програма ООН з довкілля (UNEP) та Відділ статистики ООН (UNSD).

Методологія обґрунтування і розрахунку для трьох субіндикаторів є добре встановленою та визнаною в науковій літературі (Wessels, K.J. et al., 2007, 2012; Котикова О.І., 2017; Prince S.D., 2019) та в багатосторонніх міжнародних угодах щодо основних змінних клімату та біорізноманіття (UNCCD, 1994; FAO, 2018).

У деяких країнах дані про земельний покрив збирає державна служба статистики, для багатьох інших дані про земельний покрив поширюються між різними галузями (сільське господарство, охорона природи, лісове господарство тощо) та пов'язані з ними відомства або міністерства. Багато національних космічних агентств мають відповідні засоби дистанційного дослідження типів вкриття земної поверхні. Що стосується продуктивності земель та запасів органічного вуглецю ґрунту, то збір даних проводять як правило на місці спеціалізовані установи на національному, регіональному та глобальному рівнях.

Програма QGIS, яку один з авторів статті використовує з 2008 року для науково-дослідних робіт, є відкритою геоінформаційною системою із великим діапазоном модулів, які суттєво розширюють її функціонал, що дозволяє не поступатися по багатьом параметрам зокрема комерційній розробці ArcGIS компанії ESRI та іншим. Алгоритми геоінформаційної системи QGIS дозволяють проводити моделювання просторово-часових змін та відображати картографічні моделі досліджуваних процесів природних ресурсів, зокрема, ґрунтів (Bogdanets, 2019).

Модуль Trends.Earth дозволяє користувачеві обчислювати кожен з цих субіндикаторів просторово, генеруючи растрові карти, які потім інтегрують у остаточну карту показників *SDG 15.3.1* і створюють табличні масиви звіту про результати, потенційно покращені та погіршені за цим показником ділянки досліджуваної території. Як агенція-зберігач Індикатора цілей сталого розвитку 15.3, Конвенція ООН з боротьби з опустелюванням розробила (UNCCD) Керівництво з належної практики надання рекомендацій щодо розрахунку Індикатора 15.3.1. Цей документ містить короткий вступ до Індикатора 15.3.1 та описує, як кожен показник обчислюється засобами інструменту Trends.Earth. У Trends.Earth використовують дані, що публікуються раз на два тижні від ресурсів дистанційного зондування MODIS та AVHRR, для обчислення річних вегетаційних індексів NDVI (обчислюваних як середній річний NDVI для простоти інтерпретації результатів). Потім ці річні NDVI використовуються для обчислення відповідних показників продуктивності. Продуктивність земель оцінюється в Trends.Earth за допомогою трьох показників, отриманих на основі даних часових рядів NDVI: траєкторія, ефективність та стан. Траєкторія продуктивності вимірює швидкість зміни первинної продуктивності в часі. Позитивні статистично значущі тенденції щодо NDVI позначатимуть потенційне поліпшення стану земель, а негативні значущі тенденції вказуватимуть на деградацію.

У межах конкретної екосистеми на первинну продуктивність впливає кілька факторів, таких як температура, а також доступність сонячної радіації, поживних речовин та вологи. Серед них доступність вологи є найбільш мінливою в часі і може мати дуже значний вплив на кількість рослинної біомаси, що виробляється щороку. У випадку, коли для аналізу використовують річні дані NDVI, важливо інтерпретувати результати, що містять архівну інформацію про опади. В іншому випадку тенденції до зниження продуктивності можна помилково інтерпретувати як деградацію земель, спричинену антропогенно, у той час коли насправді вони зумовлені регіональними особливостями змін у доступності вологи.

Trends.Earth дозволяє користувачеві проводити різні типи аналізу, щоб відокремити кліматичні причини змін первинної продуктивності від тих, які можуть бути наслідком прийнятих людиною рішень у сфері використання земель на місцях. Показник продуктивності вимірює локально продуктивність щодо інших подібних типів рослинності на подібних типах ґрунтового покриву або біокліматичних регіонах всієї досліджуваної території. У моделі використовують комбінацію одиниць таксономії ґрунтів (із використанням американської системи USDA, наданих SoilGrids з роздільною здатністю 250м) та типів земельного покриву (37 класів ґрунтового покриву з роздільною здатністю 300 м), для визначення цих областей у процесі аналізу (Trends.Earth documentation, 2021). Для оцінки змін у ґрунтовому покриві користувачам потрібні карти ґрунтового покриву, що охоплюють досліджувану область для базового та цільового років. Ці карти повинні бути прийнятними за точністю і створюватися таким чином, щоб можна було проводити достовірне порівняння. Trends.Earth використовує карти типів покриву Європейської космічної агенції ESA як набір даних за замовчуванням, але також можна використовувати локальні карти з інших джерел. Інтеграція трьох субіндикаторів індикатора цілей сталого розвитку 15.3.1 здійснюється відповідно до правила виключення, це означає, що якщо область була визначена як потенційно деградована за будь-яким із субіндикаторів, тоді ця область буде розглядатися як така, що потенційно погіршується за показником індикатора 15.3.1. (Trends.Earth documentation, 2021).

**Результати і обговорення.** Для оцінювання індикатора деградацій ґрунтів нами було обрано період, де базовий рік - 2001, а рік порівняння - 2019, що достатньо відображає динаміку використання земель за цей період у ринкових умовах та дозволяє оцінити вплив різних факторів на стан ґрунтового покриву за цим інтегральним показником. При роботі з модулем Trend.Earth було обрано територію у адміністративних межах Київської області. У результаті оброблення даних на досліджувану територію модулем Trend.Earth було отримано дані щодо стану використання земель (типів покриву), умісту органічної речовини ґрунту та показників продуктивності земель за методикою, описаною вище (Trends.Earth documentation, 2021). Ці дані були завантажені у середовище геоінформаційної системи QGIS для подальшого аналізу. Особливої уваги заслуговує набір даних, що відображає тенденцію змін за індикатором 15.3.1.

Як видно із розробленої нами карти (рис.2), за досліджуваний період на території Київської області переважають деградаційні процеси, вони зумовлені різними факторами, зокрема, інтенсивним сільськогосподарським використанням земель із розорюванням та втратою органічної речовини ґрунту та деградаціями унаслідок ерозії ґрунтів, насамперед водної. У той же час, більша частина земель (понад 66%) не зазнала позитивних чи негативних змін за досліджуваний період. Відповідно до методики розрахунку показника (Trends.Earth documentation, 2021)., враховано сукупну дію факторів використання земель, вмісту органічного вуглецю ґрунту та продуктивності посівів на досліджуваній території.

Позитивні зміни індикатора деградації земель (відображено на рис. 2 зеленим кольором) свідчать переважно про зменшення сільськогосподарського використання цих земель, у той же час, вміст органічного вуглецю ґрунту за даними аналізу досліджуваної території демонстрував переважно негативну динаміку (рис. 3).



**Рис. 2. Карта (фрагмент) результатів аналізу даних щодо деградацій ґрунтового покриву модулем Trends. Earth, за період 2001-2018рр.**

За нашими оцінками, при перевірці окремих ділянок із підвищеним значенням індикатора деградації земель за різночасовими даними дистанційного зондування, це найчастіше сільськогосподарські угіддя, які активно використовуються. Для використання індикатора 15.3.1 у конкретних природно-кліматичних умовах необхідно враховувати місцеві практики, особливості та традиції ведення сільського господарства, які будуть істотно відмінними, скажімо, в Україні та Бразилії. На жаль, у можливостях застосування цього індикатора для характеристики окремого господарства чи підприємства існує обмеження, спричинене особливостями даних, які служать основою для такого розрахунку (роздільна здатність 250-300м).



**Рис. 3. Карта (фрагмент) результатів аналізу даних щодо органічного вуглецю ґрунту модулем Trends. Earth за період 2000-2019 рр.**

У той же час, для розрахунку індикатора деградацій земель інструментом Trends.Earth можливо встановити такі зміни на рівні як країни загалом, так і окремої адміністративної області (масштаб карти 1:1000000) та провести просторово-часовий аналіз таких змін. Тому на нашу думку, даний інструмент становить значний інтерес для науковців та практиків для цілей кількісної оцінки таких змін у визначеній адміністративній одиниці.

**Висновки.** При деякій умовності такого підходу, індикатор дозволяє відобразити у просторі карти дані зміни стану земель, втрати органічного вуглецю ґрунту за даними дистанційного зондування та характер деградацій ґрунтів за обраний часовий інтервал. У зоні Лісостепу України переважаючим типом використання земель є ведення сільськогосподарської діяльності із розорюванням земель. Частина господарств практикує мінімізацію обробітку ґрунту, що, зокрема, має позначитися і на величині індикатора деградації земель. У зв’язку із складними економічними умовами, частина земель за період 2001-2019рр. не використовувалася у сільськогосподарському виробництві, окремі поля заростали деревною рослинністю та не перебували в активному обробітку, що мало відображення у показниках індикатора 15.3.1. У той же час, більша частина земель (понад 66%) не зазнала позитивних чи негативних змін за досліджуваний період. При застосуванні даних дистанційного зондування, які служать основою для розрахунку індексів деградацій земель інструментом Trends.Earth можливо встановити такі зміни на рівні адміністративної області (масштаб карти 1:1000000) та провести просторово-часовий аналіз таких змін. При цьому складно забезпечити вищу просторову точність, на рівні окремої територіальної громади чи господарства, що зумовлено особливостями даних, які служать основою для такого розрахунку. Використання індикаторних показників стану ґрунтів, моніторингу розвитку деградаційних процесів за оперативними даними та можливість їх порівняння для різних часових проміжків відіграє особливо вагому роль у контексті впливу глобальних змін клімату на ґрунтовий покрив, перспективи сільськогосподарського виробництва і в загальному на якість життя людей.

**REFERENCES**

1. Alamanos, A. and Linnane, S., 2021. Estimating SDG Indicators in Data-Scarce Areas: The Transition to the Use of New Technologies and Multidisciplinary Studies. Earth, 2(3), pp.635-652.
2. Baliuk S.А., Medviediev V.V., Zakharova M.A. (2013). Stan gruntiv Ukrayiny ta shlyakhy pidvyshchennya yikh rodyuchosti v umovakh optymizatsiyi zemel'nykh resursiv Ukrayiny [Ukrainian soils state and ways to increase their productivity in conditions of land resources optimization in Ukraine]. Zemlerobstvo, No.14 (85). 14-24.
3. Bogdanets V. (2019). Web-mapping potential and its use for mapping of land value parameters. Zemleustriy, kadastr i monitorynh zemel', (3), 81-87. https://doi.org/10.31548/zemleustriy2019.03.09
4. Fedorov O.P., Samoylenko L.I., Kolos L.M., Pidhorodets'ka L.V.. (2019). Problemy vykorystannya suputnykovykh danykh dlya monitorynhu tsiley staloho rozvytku Ukrayiny. [Problems of using satellite data to the assessment of sustainable development goals of Ukraine] Kosmichna nauka i tekhnolohiya 2019. Vol. 25. No 3. 40-56. https://doi.org/10.15407/knit2019.03.040
5. Knowledge Products and Pillars. Land Degradation Neutrality. LDN monitoring. SDG indicator 15.3.1. UNCCD. Available at: <https://knowledge.unccd.int/ldn/ldn-monitoring/sdg-indicator-1531>
6. Kotykova O.I. (2017). Monitorynh ta otsinka stalosti rozvytku sil's'kohospodars'koho zemlekorystuvannya rehioniv Ukrayiny. [Monitoring and evaluation of land use sustainability of agricultural regions of Ukraine] Ekonomika APK, (5), 24-32. http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/2606
7. Kovalenko A.O. (2018). Stan i perspektyvy realizatsiyi Tsiley staloho rozvytku v Ukrayini [State and Prospects for Achieving the Sustainable Development Goals in Ukraine] Ekonomika pryrodokorystuvannya i stalyy rozvytok, №1-2, 11-14. http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/161898
8. Land Portal. Interactive map and 15.3.1. SDG indicator. Available at: <https://landportal.org/book/sdgs/153/1531>
9. Mar’yanovych M.E. (2019). Natsional'ni indykatory dosyahnennya Tsiley staloho rozvytku ta yikh rol' u poryadku dennomu OON do 2030 roku. [National indicators of achieving the sustainable development goals and their roles in the United Nations agenda by 2030] Innovative Economy, (5-6), 133-138. https://doi.org/10.37332/2309-1533.2019.5-6.18
10. Prince S.D. Challenges for remote sensing of the Sustainable Development Goal SDG 15.3. 1 productivity indicator. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 234: 111428. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111428
11. The official site of FAO (2018), "Transforming food and agriculture to achieve the SDGs 20 interconnected actions to guide decisionmakers. Food and agriculture organization of the united nations", Available at: http:// www.fao.org/3/I9900EN/i9900en.pdf
12. The official site of Sustainable Development Goals Knowledge Platform (2015), "2030 Agenda for Sustainable Development", Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
13. Trends.Earth. Documentation. Available at: <http://trends.earth/docs/en/pdfs/>Trends.Earth.pdf
14. Trends.Earth. SDG indicator 15.3.1. description. Available at: <http://trends.earth/docs/en/background/understanding_indicators15.html>
15. United Nations Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa UNCCD, 1994. Available at: <https://www.unccd.int/sites/default/files> [/relevant-links/2017-01/unccd\_convention\_eng\_0.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-01/UNCCD_Convention_ENG_0.pdf)
16. Wessels K.J.; Prince S.D.; Malherbe J.; Small J.; Frost P.E.; VanZyl D. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. J. Arid Environ. 2007, 68, P. 271–297. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.015
17. Wessels K.J.; van den Bergh F.; Scholes R.J. Limits to detectability of land degradation by trend analysis of vegetation index data. Remote Sens. Environ. 2012, No.125, P. 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.022>
18. Yahodzins'ka A.S. (2020). Monitorynh indykatoriv TsSR2: stvorennya stiykykh system vyrobnytstva produktiv kharchuvannya v Ukrayini. [Monitoring of indicators GSD2: creation of sustainable food production systems in Ukraine] Ekonomika ta derzhava. No 8. 101-106. http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/8295