

Душкін С. С., канд. техн. наук, доц.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

ОГЛЯД ОНЛАЙН-РЕСУРСІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ: ПРАКТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ СТУДЕНТІВ-ЕКОЛОГІВ

Анотація. У сучасному світі, що характеризується стрімким розвитком інформаційних технологій, моніторинг стану навколишнього середовища набуває особливої актуальності. Використання сучасних онлайн-ресурсів та програмного забезпечення дозволяє отримувати, обробляти та аналізувати екологічні дані з безпрецедентною швидкістю та точністю. Ця стаття присвячена огляду ключових веб-платформ та програмних продуктів, які можуть бути ефективно інтегровані в освітній процес під час вивчення дисципліни «Моніторинг довкілля». Особлива увага приділяється вільному та відкритому програмному забезпеченню, що надає студентам можливість самостійного дослідження без додаткових фінансових витрат. У статті розглядаються передумови створення глобальних систем моніторингу, їхня структура, а також особливості організації екологічного моніторингу в Україні. На основі аналізу ресурсів та інструментів надаються рекомендації щодо їхнього практичного застосування у навчальній та науковій роботі.

Ключові слова: моніторинг довкілля, екологічні дані, екологічна освіта, цифрові інструменти

Сучасний розвиток суспільства нерозривно пов'язаний із техногенним навантаженням на навколишнє природне середовище, що спричиняє комплексні екологічні виклики. Погіршення якості повітря та водних ресурсів, деградація ґрунтів та втрата біорізноманіття вимагають не лише негайного реагування, а й систематичного та об'єктивного контролю. У цьому контексті моніторинг стану довкілля стає критично важливою складовою державної політики, наукових досліджень та освітніх програм. Він є основою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень та розробки ефективних стратегій сталого розвитку.

Передумови створення систем моніторингу сягають другої половини ХХ століття, коли зростання промислового виробництва інтенсифікувало антропогенний вплив на біосферу. Локальні спостереження за окремими параметрами довкілля

трансформувалися в ідею створення комплексних, взаємопов'язаних систем, здатних збирати, аналізувати та прогнозувати зміни на регіональному та глобальному рівнях. Цей процес призвів до появи міжнародних ініціатив, таких як Глобальна система моніторингу навколишнього середовища (далі – ГСМОС (Global Environment Monitoring System (GEMS)), що об'єднала зусилля різних країн і організацій. Сьогодні, завдяки стрімкому прогресу в галузі сенсорних технологій, супутникових систем та мережевих комунікацій, моніторинг перейшов від періодичних вимірювань до безперервного потоку даних у реальному часі [1].

Метою цієї статті є надання систематизованого огляду ключових онлайн-ресурсів та програмного забезпечення, які дозволяють отримувати, візуалізувати та аналізувати дані екологічного моніторингу.

Ефективний моніторинг не може бути обмежений територією однієї країни; він вимагає міжнародної співпраці та стандартизації методів. Це стало основною передумовою для створення ГСМОС, яка функціонує під егідою Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP). Метою ГСМОС є збір, обробка та аналіз даних про стан довкілля по всьому світу для оцінки глобальних трендів і загроз. В рамках цієї системи функціонують різні програми, що спеціалізуються на моніторингу якості повітря (GEMS/Air), водних ресурсів (GEMS/Water) та біорізноманіття. Важливим компонентом глобального моніторингу є європейська програма Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en>), яка надає супутникові дані для спостереження за станом атмосфери, океанів, суші та клімату. Ці дані є безкоштовними та загальнодоступними, що робить їх безцінним джерелом для студентських досліджень.

Міжнародні програми екологічного моніторингу охоплюють широке коло завдань - від відстеження глобальних кліматичних змін до оперативного виявлення локальних екологічних загроз. Європейська програма Copernicus забезпечує безкоштовний доступ до супутникових даних Sentinel (<https://www.sentinel-hub.com>), що дозволяють оцінювати стан атмосфери, океанів і суходолу, виявляти зміни рослинного покриву, масштаби пожеж чи повеней Система FIRMS (Fire Information for Resource Management System <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>) від NASA надає дані про активні осередки пожеж та теплові аномалії в режимі близькому до реального часу, що особливо ціно для аналізу екологічних ризиків у лісових і степових регіонах. Платформа Windy (<https://www.windy.com>) в інтерактивному форматі відображає атмосферні процеси, включно з напрямками та швидкістю вітру, температурними аномаліями, опадами та іншими метеорологічними параметрами, що важливо для

моделювання розповсюдження забруднювачів. Для морських екосистем корисним є використання глобальних баз даних морських течій, які допомагають відстежувати перенесення забруднень у прибережних і відкритих водах.

Організація моніторингу в Україні здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [2]. Національна система моніторингу є багатокомпонентною і включає моніторинг атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, ландшафтів, надр, а також джерел викидів. Центральним органом, що відповідає за організацію та координацію моніторингу, є Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. На практиці, моніторинг здійснюється у співпраці з Українським гідрометеорологічним центром (УкрГМЦ), Державним агентством водних ресурсів України та іншими відомствами. Дані з українських мереж спостережень є основою для екологічних прогнозів та розробки державних програм. Доступ до цих даних, хоч і в деякій мірі обмежений, поступово стає більш відкритим завдяки цифровізації та розвитку державних інформаційних систем.

Окреме місце у структурі національних онлайн-ресурсів займає портал EcoZagroza (<https://ecozagroza.gov.ua>), який в інтерактивному форматі відображає екологічну шкоду, завдану внаслідок збройної агресії РФ проти України.

Для ефективного аналізу даних екологічного моніторингу майбутнім фахівцям необхідно володіти сучасними цифровими інструментами. Їх можна умовно розділити на дві категорії: онлайн-ресурси для отримання даних та програмне забезпечення для їхньої обробки.

До онлайн ресурсів належать:

- моніторинг якості повітря: IQAir - одна з найпопулярніших платформ з детальними даними про якість повітря в реальному часі, прогнозами та історичними даними (<https://www.iqair.com>); World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index - показує індекс якості повітря (AQI) в реальному часі для понад 100 країн (<https://aqicn.org/map>); PurpleAir – це мережа датчиків якості повітря, які здебільшого належать приватним особам (<https://www.purpleair.com/map>); BreezoMeter - пропонує не лише дані про якість повітря, а й інформацію про пилок і погодні умови. Вона використовує складні алгоритми для об'єднання даних з різних джерел, надаючи деталізовані прогнози на кілька днів уперед (<https://www.breezometer.com>); OpenAQ – некомерційна організація, яка об'єднує дані про якість повітря з відкритих державних станцій моніторингу по всьому світу (<https://openaq.org>); Plume Labs - є частиною AccuWeather, надає прогнози

якості повітря за допомогою свого індексу Airlike (<https://air.plumelabs.com>); Агентство з охорони довкілля США надає дані про якість повітря по всій території Сполучених Штатів. Їх інструмент AirNow пропонує карту в реальному часі та прогнози (<https://www.epa.gov/air-quality>), European Environment Agency (EEA) пропонує дані про якість повітря для країн Європи через свій European Air Quality Index (<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>); Український проєкт від розробників порталу ЛУН. Він збирає дані з власних датчиків, встановлених у різних містах України (<https://misto.lun.ua/air>);

– моніторинг якості води: Water Quality Portal (WQP) - спільний проєкт трьох державних агентств США (EPA, USGS та USDA). Портал надає доступ до величезної бази даних про якість води, зібраної з тисяч локацій по всій країні (<https://www.waterqualitydata.us>); Global Drinking Water Quality Data - база даних Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) містить інформацію про якість питної води, зібрану з різних країн світу. Вона зосереджена на показниках, що мають важливе значення для здоров'я людини ([https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/monitoring/global-drinking-water-quality-database-\(gdwqd\)](https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/monitoring/global-drinking-water-quality-database-(gdwqd))); The Waterkeeper Alliance - некомерційна організація, яка має глобальну мережу партнерів, що моніторять якість води в річках, озерах і прибережних зонах (<https://waterkeeper.org>); NASA Earthdata - супутникові дані, які допомагають в оцінці якості води, зокрема, в моніторингу цвітіння водоростей, каламутності та температури поверхні води. Ці дані мають глобальне покриття, хоча й вимагають спеціалізованих знань для інтерпретації (<https://www.earthdata.nasa.gov/learn/what-is-earthdata/water-quality-data>); European Environment Agency (EEA) Water Data - надає інформацію про стан водних ресурсів у Європі, зокрема про стан річок, озер та ґрунтових вод. Їхня база даних дозволяє переглядати показники якості води в різних європейських країнах (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/#c2=water>); в Україні працює Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України від Державного агентства водних ресурсів (<http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>)

– якість ґрунтів можна дослідити за платформами агромоніторинга які працюють за принципом: збір даних – аналіз – візуалізація – рекомендації. До міжнародних платформ належать EOSDA Crop Monitoring, Planet Labs, The Climate Corporation, Trimble Ag Software. До українських платформ відносяться: AgriLab, AgroMonitor, Tocal AMS, Agro-ID.

– основними метеопорталами для України та Східної Європи є Gismeteo, Meteoproг, Sinoptik.ua, інструментами для аналізу клімата та погодних процесів – Ventusky та Windy;

– українська платформа SaveEcoBot (<https://www.saveecobot.com>) для моніторингу пожеж та теплових аномалій використовує дані глобального сервіса від NASA (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>). Також на платформи моніториться якість повітря, що дає більш повну екологічну ситуацію;

– онлайн карти морських течій важливі для розуміння екологічного моніторингу та прогнозування погоди: Ventusky, Windy, NASA Earthdata (<https://www.earthdata.nasa.gov>), Earth Nullschool (<https://earth.nullschool.net>);

– платформи що моніторять землетруси збирають сейсмічні дані з усього світу і надають інформацію про останні землетруси, їхню силу (магнітуду) та розташування: European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC <https://www.emsc-csem.org>), United States Geological Survey (USGS <https://www.usgs.gov>), VolcanoDiscovery (<https://www.volcanodiscovery.com>), ГЦСК (<https://gcsk.gov.ua>) – офіційний український державний орган, що здійснює моніторинг сейсмічної ситуації в Україні, Earthquake Track (<https://earthquaketrack.com>);

– моніторинг біорізноманіття та природних ресурсів: Global Biodiversity Information Facility (GBIF – <https://www.gbif.org>). Це міжнародна мережа, яка надає вільний доступ до величезної бази даних про види рослин і тварин.; Global Forest Watch (GFW <https://www.globalforestwatch.org>). Ця платформа використовує супутникові дані для моніторингу лісів у реальному часі. GFW дозволяє відстежувати вирубку лісів, виявляти лісові пожежі та аналізувати динаміку змін лісового покриття; Український центр моніторингу біорізноманіття [3]. Це наукова установа, яка збирає та систематизує дані про стан екосистем в Україні. Хоча їхня інформація може бути не на інтерактивній карті, вона доступна у вигляді звітів та наукових публікацій, що є цінним джерелом для досліджень;

– моніторинг радіаційного фону Агенція з ядерної енергії (NEA <https://www.oecd-nea.org>) та Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ <https://www.iaea.org>) та інші організації надають доступ до даних про радіаційну обстановку у світі. Їхні звіти та бази даних є основним джерелом для глобального аналізу; Моніторингові мережі в Європі (EURDEP <https://remon.jrc.ec.europa.eu>). Європейська платформа об'єднує дані моніторингу радіації з різних країн, що дозволяє відстежувати зміни фону по всій Європі; Державна інспекція ядерного регулювання України (ДІЯРУ [251](https://ua-</p></div><div data-bbox=)

energy.org). Це офіційний орган, який контролює безпеку ядерних установок. На їхньому сайті публікується інформація про радіаційний фон в Україні та SaveEcoBot.;

- моніторинг міського середовища та шуму: OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>), додатки для телефонів, зокрема, NoiseMap та SoundMeter. В Україні великі міста створюють власні інтерактивні мапи, також існують громадські ініціативи, наприклад «Мапа сміттєзвалищ України», яка збирає інформацію від громадян про несанкціоновані сміттєзвалища, що є важливим елементом громадського моніторингу.

- комплексні ГІС-платформи та супутникові дані: Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>): потужна хмарна платформа для аналізу супутникових даних та моніторингу екологічних змін та Sentinel Hub – сервіс, що надає доступ до супутникових даних для швидкого моніторингу та аналізу.

Програмне забезпечення для обробки та аналізу даних моніторингу є критично важливим для практичного навчання, адже воно дозволяє студентам перетворити сирі дані на осмислені висновки та візуалізації. Дослідження навколишнього середовища потребує інструментів, здатних опрацьовувати геопросторову інформацію, статистичні ряди та великі масиви даних [4-6]:

- вільне та відкрите програмне забезпечення (FOSS) має особливу цінність для студентів, оскільки воно не вимагає фінансових витрат. Це забезпечує рівний доступ до потужних інструментів для кожного, незалежно від фінансового стану. FOSS-рішення активно розвиваються спільнотою, що забезпечує їхню актуальність та адаптацію до нових викликів [7, 8];

- QGIS – це потужна геоінформаційна система, що є повноцінною альтернативою комерційним аналогам. Вона дозволяє працювати з різноманітними форматами даних, створювати детальні карти, виконувати просторовий аналіз та моделювання. З його допомогою студенти можуть візуалізувати дані моніторингу річкових басейнів, оцінювати поширення забруднюючих речовин та аналізувати зміни в лісовому покриві [9];

- RStudio та мова програмування R дозволяє аналізувати часові ряди даних моніторингу (наприклад, динаміку якості повітря), виявляти кореляції та будувати прогнози. R особливо корисний для роботи з великими табличними даними [10];

- Python – універсальна мова програмування, що завдяки бібліотекам Pandas, NumPy та Matplotlib є чудовим інструментом для обробки та візуалізації даних. Його

можна використовувати для автоматизації збору даних з вебсайтів, інтеграції з ГІС-системами та створення складних моделей аналізу [11, 12].

Таким чином, впровадження онлайн-ресурсів та відкритого програмного забезпечення у навчальний процес з екологічного моніторингу не лише розширює доступ студентів до актуальної інформації, а й формує в них критичне мислення, аналітичні навички та здатність працювати з великими масивами даних. Вільний доступ до потужних інструментів усуває фінансові бар'єри й дозволяє кожному навчатись і досліджувати в умовах, максимально наближених до реальних. Поєднання глобальних систем спостереження з локальними ініціативами та цифровими інструментами відкриває нові можливості для підготовки висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно реагувати на сучасні екологічні виклики.

Література

1. Wiersma, G. B. (Ed.). (2004). Environmental monitoring. CRC Press. 792 p. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203495476>
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII. Відомості Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
3. Різун В., Глотов В., Гуштан Г. Г., Яницький Т. та ін. Використання інформаційного ресурсу Центр даних «Біорізноманіття України» для моніторингу біоти // Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні. Серія: «Conservation Biology in Ukraine». — 2020. — Вип. 16, Т. 3. — С. 111–119.
4. Zhang, Z. Environmental Data Analysis: Methods and Applications. De Gruyter, 2017. <https://www.doi.org/10.1515/9783110424904>
5. Menke, W., Menke, J. Environmental Data Analysis with MATLAB. Academic Press, 2016. <https://www.doi.org/10.1016/C2015-0-01993-1>
6. Neteler, M., Bowman, M. H., Landa, M., Metz, M. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. Environmental Modelling & Software, 2012, Vol. 31, pp. 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014>
7. Nayak, K.; Binjha, P. B. Student's Awareness of Free and Open-Source Software (FOSS) in Higher Education. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 2022, Vol. 26, Iss. 2, p. 81–87. <https://doi.org/10.9734/ajess/2022/v26i230625> journalajess.com

8. Petras, V.; Petrasova, A.; Harmon, B.; Meentemeyer, R.; Mitsova, H. Integrating Free and Open-Source Solutions into Geospatial Science Education. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015, Vol. 4, Iss. 2, p. 942–956. <https://doi.org/10.3390/ijgi4020942>
9. Величко, С., Дупляк, О. Використання програмного комплексу QGIS для визначення гідрологічних характеристик: досвід використання в навчальному процесі. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2024, № 47, с. 4–11. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2024.47.4-11>
10. Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A. and Smith, G.M. (2009) *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York, 574. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>
11. Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., et al. Array programming with NumPy. *Nature*, 2020, Vol. 585, pp. 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
12. Hunter, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 2007, Vol. 9(3), pp. 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>