

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

С.В. Медінець, В.І. Медінець, Я.М. Біланчин

ГРУНТОВО-ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ
ТЕХНОЛОГІЯ ВИМІРЮВАНЬ ЕМІСІЇ ОКРЕМИХ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ
(CO₂ ТА H₂O) ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ЕДДІ КОВАРІАНС

Методичний посібник

Одеса
2016

УДК 551.588.3:504.7:004.65(075.8)
ББК 40.31я81
М 442

Медінець С.В., Медінець В.І., Біланчин Я.М. Ґрунтово-екологічний моніторинг. Технологія вимірювань емісії окремих парникових газів (CO_2 та H_2O) за допомогою автоматичної системи Едді Коваріанс. Методичний посібник. – Одеса, 2016. – 38 с.

Рецензенти:

Є.Н. Красеха – завідувач кафедри географії України, д. б. н., професор
(Одеський національний університет імені І. І. Мечникова)

Е.В. Куліджанов – директор філії, к. с.-г. н., доцент; **Н.А. Ямкова** - секретар методичної комісії
(Одеська філія ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»)

В.І. Михайлюк – завідувач кафедри земельного кадастру, д. геогр. н., професор
(Одеський державний аграрний університет)

Ю.Д. Шуйський – завідувач кафедри фізичної географії і природокористування, д. геогр. н., професор
(Одеський національний університет імені І. І. Мечникова)

**Рекомендовано до друку Науково-методичною радою
ОНУ імені І. І. Мечникова 24 березня 2016 р. (протокол № 5)**

У посібнику наведено теоретичну частину, основні принципи та методологію вимірювання концентрацій і потоків вуглекислого газу, парів води та енергетичних потоків на сільськогосподарських землях. Розглянуто основні вимоги щодо встановлення системи (вибір місця, поетапна інсталяція обладнання і підключення), експлуатації (калібрування, налаштування, обробка даних) та регулярного догляду за обладнанням. Особливу увагу звернено на складність, багатостадійність та особливості обробки первинних даних.

Наведено основні прийоми і способи мікрометеорологічних досліджень обмінних процесів парникових газів (на прикладі CO_2) між ґрунтами і приземною атмосферою, показано, які корекції необхідно врахувати, наведено методику розрахунку величин значень потоків, продемонстровано основні способи заповнення пробілів даних. Розглянуто особливості підготовки звітних матеріалів, вимог та структуру звітних таблиць.

Планується використання посібника у навчальному курсі «Ґрунтово-екологічний моніторинг» (5 курс), а також у курсі «Дослідження і картографування ґрунтів та геохімічних ландшафтів» (3 курс). Матеріали посібника рекомендуються для використання при проведенні польових ґрунтових досліджень та обробці отриманої інформації, підготовці курсових і дипломних робіт студентами геолого-географічного факультету та інших природничих спеціальностей.

© С.В. Медінець, В.І. Медінець, Я.М. Біланчин, 2016

© Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2016

Зміст

стор.

	Вступ	4
1.	Принцип методу турбулентних пульсацій	6
2.	Опис системи та її складові частини	8
3.	Встановлення системи	12
3.1.	Вибір місця для встановлення	12
3.2.	Інсталяція обладнання	12
3.3.	Підключення	14
4.	Експлуатація системи	16
4.1.	Калібрування	16
4.2.	Програмне забезпечення для отримання даних	18
4.3.	Програмне забезпечення для обробки первинних даних	19
4.4.	Пост-процесінг даних	25
5.	Догляд за обладнанням	31
6.	Представлення звітних результатів і таблиць	32
	Заключення	34
	Перелік використаних джерел	36

ВСТУП

Потепління клімату є найбільшою загрозою для природи і людства у XXI столітті [5, 6, 17, 18, 20]. Більш того, вже сьогодні зміна клімату реєструється повсюдно: будь-то танення льодовиків, підвищення рівня моря, сильні шторми, рясні повені, скорочення снігопадів на півночі і суворя посуха на півдні. Особливе занепокоєння викликає той факт, що 10 найбільш спекотних років у світовій історії, починаючи з 1856 року, були зафіксовані за останні 15 років [5, 6, 18, 20]. На думку багатьох вчених сучасне глобальне потепління, яке викликало зміни клімату, є прямим наслідком активної антропогенної діяльності. В результаті спалювання людиною кожного шматочка вугілля, кожного літра нафти чи газу, відбувається накопичення продуктів горіння в атмосфері, більшість яких належить до парникових газів. Такі гази виконують роль парникової плівки, огортаючи нашу планету, одночасно пропускаючи сонячну радіацію (головним чином короткохвильову), яка нагріває земну поверхню і не дозволяє теплу (інфрачервоній довгохвильовій радіації) випромінюваному поверхнею, покинути нашу атмосферу, що призводить до нагрівання атмосфери і поверхні та згубно позначається на здоров'ї людей і природи загалом.

Відомо [1, 5, 6, 9, 15, 18, 20], що ґрунти, особливо які використовуються в сільському господарстві, є джерелом принаймні трьох основних парникових газів - CO_2 , N_2O і CH_4 . Так як ці гази по-різному впливають на парниковий ефект, тому для уніфікації прийнято виражати ємність поглинання парникових газів (потенціал глобального потепління - ПГП) в еквіваленті одиниць CO_2 . ПГП оксиду азоту та метану відповідно в 296 та в 23 рази вищий, ніж у CO_2 [5, 6, 18, 20]. Застосування азотних добрив є важливим фактором, що впливає на баланс парникових газів в агроєкосистемі (біоценозі) [1, 6, 15, 18]. Відомо, що внесок CO_2 в парниковий ефект складає біля 50-60%, CH_4 – 20% та N_2O – 5%. Цікаво, що найпоширенішим парниковим газом все-таки є водяний пар, однак його кількість настільки велика й майже не змінюється з часом, що її частка не враховується при розрахунку внеску

[18, 20]. Слід відмітити також, що внесок фреонів складає біля 15%, але більшість з них заборонені до використання, тому їхня кількість є більш-менш постійною величиною в атмосфері Землі [5, 6, 17]. Озон (O_3) також відноситься до парникових газів, однак завдяки надто високій реакційній природі досить складно підрахувати його внесок. Водночас відомо, що O_3 відіграє одну з найважливіших ролей в хімії атмосфери [9]. Основною метою досліджень парникових газів є виявлення джерел емісій, виявлення основних чинників запобігання росту емісій, розробка практичних рекомендацій та змінення законодавчої бази щодо зменшення викидів цих газів [18, 20].

Дослідження останніх років [2, 4, 18, 20] показали, що орні землі можуть бути як джерелом, так і стоком для діоксиду вуглецю: його баланс в основному знаходиться під впливом вирощуваної культури та особливостей господарської діяльності. Одним з найсучасніших методів вимірювання потоків CO_2 є мікрометеорологічний метод турбулентних пульсацій «Едді Коваріанс» – надалі «Едді Коваріанс» [2, 4], який дозволяє вимірювати як емісії, так і споживання газів, а також надає можливість вимірювати потоки тепла (приховану теплоту пароутворення, потік прихованої теплоти та імпульс), що інтегровані над досліджуваною поверхнею. Цей метод широко використовується в мікрометеорології вже понад 30 років. Однак зараз, завдяки удосконаленій методології та більш досконалим приладам, цей метод став доступним для безлічі дисциплін в таких напрямках як наука (екологія і гідрологія) та індустрія (індустріальний моніторинг). Нині Едді Коваріанс (ЕК) є одним з найточніших прямих методів вимірювання газових потоків та моніторингу газових емісій на територіях від декількох сотень до мільйонів квадратних метрів [2, 4].

1. ПРИНЦИП МЕТОДУ ТУРБУЛЕНТНИХ ПУЛЬСАЦІЙ

Поверхневий приземний шар (рис. 1) займає менше 10 % всього граничного шару (boundary layer) атмосфери. Потoki водяної пари та тепла в межах цього шару є більш-менш постійними з підвищенням висоти при дотриманні певних критеріїв: 1) поверхня має бути більш-менш однорідною по горизонталі; 2) співвідношення $z_{sfc}/h \ll 1 \ll z_{sfc}/z_{rm}$ має бути дотримано, де $z_{sfc}/$ - висота приземного шару, h – висота граничного шару, z_{rm} - коефіцієнт шорсткості імпульсу (roughness length of momentum) [1, 3].



Рис.1. Ідеальний вертикальний профіль віртуальної потенційної температури та вологості із зображенням всіх шарів атмосферного приземного граничного шару [2].

Якщо перелічені вище умови дотримані, потоки водяного пару і тепла в поверхневому шарі можуть бути записані як:

$$LE = L_v * w' * \rho'_v \quad (1)$$

$$H = \rho_a * C_p * w' * T' \quad (2)$$

де LE – потік прихованої теплоти, L_v – прихована теплота пароутворення, w' – миттєве відхилення вертикальної швидкості вітру від середньої величини, ρ'_v – миттєве відхилення щільності водяної пари від середньої величини, H – явний потік тепла, ρ_a – щільність повітря, C_p – теплова ємність повітря при постійному тиску, T' – миттєве відхилення температури повітря від середньої величини [3]. Коваріанси між миттєвим відхиленням вертикальної швидкості вітру і температурою ($w'T'$) та миттєвим відхиленням вертикальної швидкості вітру і щільністю водяної пари ($w'\rho'_v$) розраховуються в реальному часі за допомогою програмного забезпечення. Система ЕК спроможна безпосередньо вимірювати потік прихованої теплоти (LE) та явний потік тепла (H), а також будь-яку газову складову (наприклад, CO_2 , N_2O , CH_4) при наявності відповідного аналізатора з високою частотою вимірювання (8-20 Гц) [18, 20]. Енергетичний баланс може бути перевірений за наявності додаткових класичних метеорологічних вимірювань радіаційного балансу (R_n) і потоків тепла з/в ґрунт (G) за допомогою рівняння поверхневого енергетичного балансу [2, 4]:

$$R_n - G = H + LE \quad (3)$$

Контрольні запитання та завдання для самостійної роботи:

1. Що таке поверхневий приземний шар, який його розмір?
2. Охарактеризуйте особливості потоків тепла і водяної пари у поверхневому приземному шарі?
3. Запишіть формулу для розрахунку потоку водяного пару (LE) та назвіть її складові.
4. Запишіть формулу для розрахунку потоку тепла (H) та назвіть її складові.
5. Запишіть рівняння поверхневого енергетичного балансу, для чого його використовують?

2. ОПИС СИСТЕМИ ТА ЇЇ СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ

Типова ЕК система складається з трьохмірного (3D) ультразвукового анемометра, аналізатора газу(-ів), основного цифрового блоку прийняття цифрових і трансформації аналогових сигналів, комп'ютера з програмним забезпеченням [2, 4].

В якості 3D ультразвукового анемометра (рис. 2) для системи Едді Коваріанс часто використовуються анемометри “WindMaster” та “WindMaster Pro” компанії Gill Inst. Ltd. (Велика Британія) [19]. Вимірювання швидкості вітру базується на вимірюванні часу, за який ультразвуковий імпульс звуку проходить від верхнього трансдюсера до протилежно розташованого нижнього трансдюсера і порівнюється з аналогічним імпульсом у зворотному напрямку. Формули для детальних розрахунків швидкості вітру з часу проходження звуком певної відстані наведені тут [19]. Дані вимірювання не залежать від температури повітря, що також дозволяє приблизно розрахувати так звану «звукову» температуру повітря за формулою:

$$T_{S1} = C_1^2 / 403 \quad (4)$$

де T_{S1} - «звукова» температура, C_1 - швидкість звуку. Слід зауважити, що в формулі (4) не враховано ефект вологості повітря.

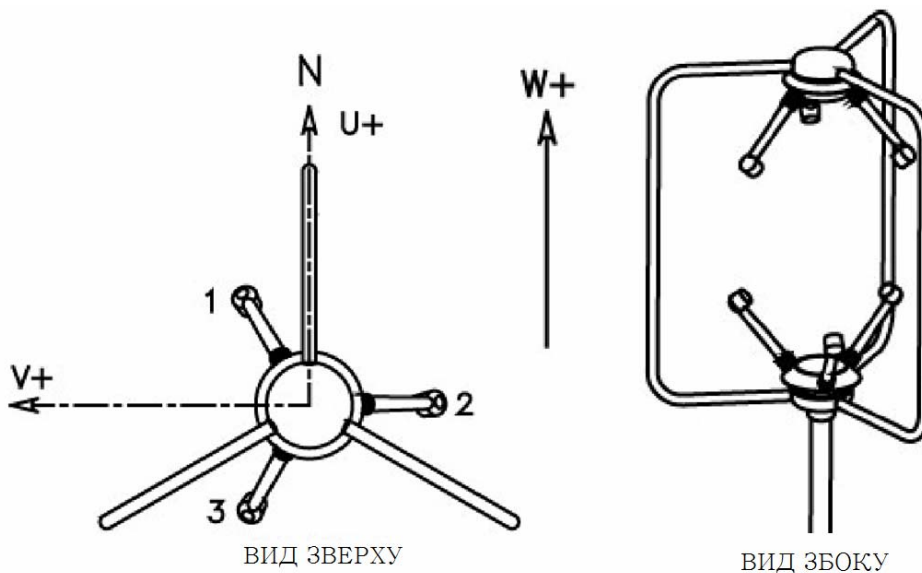


Рис. 2. Ультразвуковий 3D анемометр (U і V – горизонтальні напрямки вітру, W – вертикальний напрямок; N – орієнтація на «північ»; 1, 2 і 3 – пари ультразвукових трансдюсерів)

Частота вимірювання таких ультразвукових анемометрів становить 32 або 40 Гц, частота отримання вихідних даних регулюється від 1 до 20 Гц. Діапазон вимірювання складає від 0 до 65 м/с з роздільною здатністю 0,001 м/с при температурі повітря від -40 до 70 °С. Більш детальну специфікацію анемометрів WindMaster, Gill наведено тут [19].

Для вимірювання вуглекислого газу та водяної пари часто використовуються газові аналізатори закритого та відкритого типів компанії Li-Cor Inc. [7]. Аналізатори закритого типу частіше використовують для вимірювань концентрацій і потоків газу на різних висотах (наприклад, градієнтні вимірювання в лісових масивах), тобто за допомогою лише одного аналізатора при наявності системи клапанів, перемикачів та відбірних трубок, що всмоктують пробу повітря на різній висоті, можна проводити такі дослідження. На відкритих ділянках частіше використовують аналізатори відкритого типу (наприклад Li-7500).

Принцип дії більшості аналізаторів (в тому числі LI-7500) вуглекислого газу і водяної пари базується на властивостях останніх поглинати інфрачервоні промені.

Вимірювання абсорбції в аналізаторах відкритого типу проводиться прямо *in situ* на висоті вимірювання без додаткового відбору повітря, коли маса повітря проходить між оптичними лінзами інфрачервоного емітера та приймача (рис. 3). Корекція впливу атмосферного тиску на абсорбцію інфрачервоного випромінювання розраховується згідно скалярного закону Джеймсона [7]. Відомо, що в атмосфері інші гази практично не впливають на абсорбцію довгохвильової радіації водяною парою (детальніше див. [7]). Водночас абсорбція вуглекислого газу залежить від декількох інших газів, таких як O_2 та H_2O , що включено в якості корекцій до розрахунків (детальніше див. [7]).

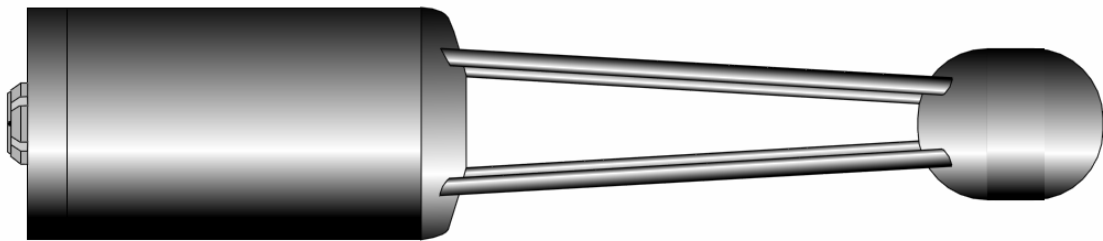


Рис.3. Схематичне зображення сенсора аналізатора відкритого типу LI-7500 (Li-Cor, Inc.) [7]

За допомогою Li-7500 можливе одночасне вимірювання як вуглекислого газу, так і водяної пари в реальному часі, не всмоктуючи повітря до відбірної системи, тим самим уникаючи побічних реакцій і затримок (*lag-time*). Цей надсучасний прилад здатний вимірювати з частотою 150 Гц (внутрішнє вимірювання) та видавати на виході відфільтрований «правдивий» сигнал з частотою 5, 10 або 20 Гц. Інструмент складається з двох частин: інфрачервоного сенсора, що розташовується на висоті вимірювання, та контрольного модуля, що розташовується на щоглі. Контрольний блок має аналогові виходи, що передають закодовану інформацію про концентрації CO_2 та H_2O на спеціальний блок (аналого-цифровий конвертер), який з'єднується з персональним комп'ютером. Також більшість аналізаторів компанії Li-Cor мають додаткові (RS232 та спеціальні) входи/ виходи та своє програмне забезпечення, що дозволяє використовувати їх не

тільки в складі ЕК системи, а й як окремий прилад для вимірювання концентрацій досліджуваних газів. Налаштування параметрів газоаналізатора здійснюється за допомогою спеціального програмного забезпечення, що постачається разом з LI-7500.

Контрольні запитання та завдання для самостійної роботи:

1. Назвіть основні складові ЕК системи.
2. Як вимірюється швидкість вітру в ЕК системі: наведіть приклади, принцип дії, частота вимірювань?
3. Як вимірюються потоки CO_2 , H_2O і тепла в ЕК системі: наведіть приклади, принцип дії, частота вимірювань?
4. Що з'єднує всі складові в єдину систему, де фіксуються дані вимірювань?

3. ВСТАНОВЛЕННЯ СИСТЕМИ

3.1. Вибір місця для встановлення

Обладнання має бути розташоване на відкритому місці, без перешкод, великих будов та точкових джерел забруднення навколо, щоб ніщо не заважало вимірюванню швидкості та напрямку вітру та не створювало ніякого додаткового «штучного» впливу на вимірювання газових концентрацій [4, 8, 11, 12, 17].

3.2. Інсталяція обладнання

Висота щогли залежить від того, яку територію планується досліджувати. В середньому ЕК система дозволяє вимірювати і характеризувати 95% емісій, що мають місце на прилеглий території радіусом в 100 разів більшим, ніж висота щогли. Наприклад, для належної інсталяції обладнання на аграрній ділянці необхідно встановити щоглу висотою 2,5 м, у підстави якої розмістити герметичний ящик з контрольним блоком газового аналізатора (рис. 4). На вершині щогли треба закріпити ультразвуковий анемометр. Датчик повинен бути закріплений строго вертикально та орієнтований необхідною стороною на південь [19]. На відстані приблизно 25 см від центра анемометра (та на 10-15 см нижче центру) необхідно закріпити датчик аналізатора під кутом 45° до щогли. Контрольний блок для фіксації аналогових сигналів від газового аналізатора і анемометра та подальшої конвертації їх у цифровий формат зазвичай розташовується поблизу щогли у герметичному ящику (рис. 5). Інформаційні кабелі для передачі інформації на комп'ютер і калібрування можуть бути розташовані разом з комп'ютером в тому ж герметичному ящику (варіант мобільної системи), або з'єднувати конвертер з комп'ютером, що розташований на значній відстані в спеціально обладнаному контейнері. При збільшенні довжини кабелів їхня товщина повинна збільшуватися пропорційно, щоб уникнути втрати сигналу.



Рис. 4. Розташування ЕК системи (справа) на аграрному полі (станція атмосферного моніторингу «Петродолинське»)



Рис. 5. Герметичний ящик з контрольним блоком ЕК і комп'ютером

3.3. Підключення

Підключення слід здійснювати в наступній послідовності:

- а) необхідно підключити сенсор газового аналізатора до контрольного блоку газового аналізатора;
- б) з'єднати аналоговий вихід газового аналізатора з конвертером аналог-цифра, який розташовано у контрольному блоці ЕК;
- в) під'єднати RS232 кабель газового аналізатора безпосередньо до комп'ютера. Це підключення використовується для налаштування, тестування та калібрування газового аналізатора;
- г) з'єднати ультразвуковий анемометр з конвертером у контрольному блоці ЕК;
- д) з'єднати контрольний блок ЕК з комп'ютером (RS232 кабель);
- е) під'єднати кабелі живлення від газового аналізатора до контрольного блоку ЕК (в заздалегідь підготовлене місце з додатковими автоматичним вимикачем);
- ж) під'єднати контрольний блок до елементів живлення (12 В). Для забезпечення автономної роботи ЕК системи рекомендовано використовувати, як мінімум, дві акумуляторні батареї закритого типу (наприклад, 100 А г), що під'єднані до інтелектуального зарядного пристрою (з автономною системою вимикання/вмикання та підтримання рівня заряду), що в свою чергу з'єднаний з мережею живлення 220 В (рис. 6).

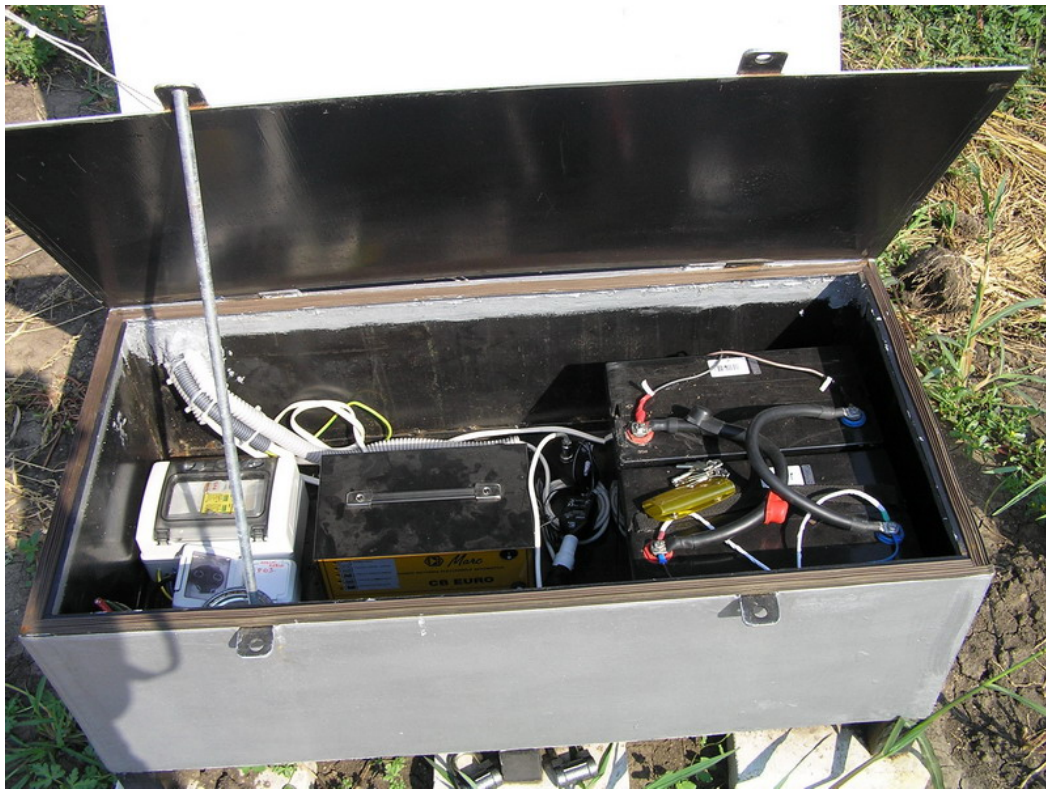


Рис. 6. Елементи живлення системи ЕК

Така схема підключення дозволяє системі працювати на протязі 1,5-2,0 днів у випадку відключення електроенергії. Слід зауважити, що для автономної роботи необхідно також підключити комп'ютер до мережі через акумуляторну батарею та інтелектуальний зарядний пристрій. Щоб зменшити енергозатрати та збільшити кількість автономних годин рекомендовано використовувати портативні комп'ютери (індустріальні планшетні ПК, ноутбуки чи нетбуки) для запису та обробки інформації.

Контрольні запитання та завдання для самостійної роботи:

1. Яке місце слід вибрати для розташування ЕК?
2. Як зменшити або збільшити площу досліджуваної ділянки при використанні ЕК системи?
3. На який відстані треба закріплювати CO₂ сенсор від анемометра?
4. В якій послідовності треба підключати ЕК систему?
5. Скільки часу ЕК може автономно працювати при живленні від акумуляторної батареї ємністю 100 А г?

4. ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМИ

Початок експлуатації приладу

Після з'єднання всіх вузлів та вмикання системи треба візуально прослідити, що система не видає ніякої помилки (наприклад, контрольний блок газового аналізатора запустився коректно). Далі до початку вимірювань треба відкалібрувати газовий аналізатор.

4.1. Калібрування

Калібрування газового аналізатора необхідно проводити на початку досліджень та далі щомісяця впродовж всіх досліджень. Для виконання калібрування необхідні: 1) азот високої чистоти (99,9999%) та 2) газова суміш CO₂ (з концентрацією 410 ppm) в азоті високої чистоти. Процедура калібрування проводиться за допомогою спеціальної калібрувальної трубки, що поставляється разом з газовим аналізатором. Для калібрування використовується спеціальна програма, що поставляється виробником аналізатора. З'єднання з комп'ютером треба проводити на швидкості від 19200 та з частотою оновлення 10 Гц. До початку калібрування треба перевірити значення показника AGC, що відображає чистоту оптичних лінз на сенсорі газового аналізатора на вкладці «Діагностика». Цей показник у нормі має становити 70±10% (рис. 7). Калібрування проводиться за двома точками (нульовою та з відомою концентрацією) для кожного газу окремо. Спочатку треба провести калібрування водяної пари, зазвичай проводиться калібрування тільки по нульовій точці через відсутність генератора точки роси [7].

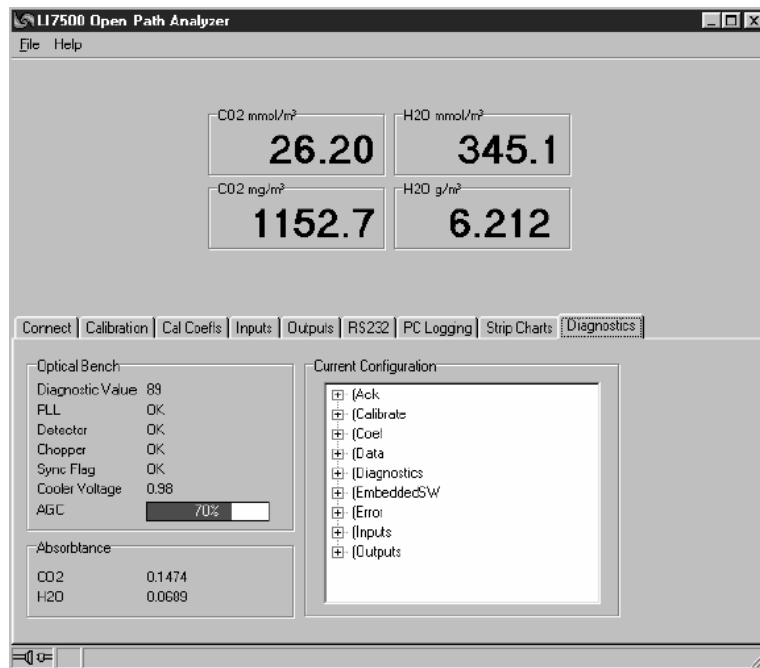


Рис. 7. Діагностична вкладка з показником AGC

Далі проводиться калібрування вуглекислого газу, яке починається з нульової точки, а потім вже калібрується точка з відомою концентрацією CO₂, яка повинна бути розташована близько до верхньої границі передбачуваного діапазону, що вимірюється на дослідній ділянці (рис. 8). Як правило, для таких цілей використовуються суміші з концентраціями CO₂ біля 400-450 ppm.



Рис. 8. Приклад вигляду вікна калібрування

На завершенні калібрування треба коректно вийти з програми, щоб всі нові коефіцієнти були записані у пам'ять газового аналізатора.

Процедуру калібрування треба проводити щонайменше щомісячно, або частіше, наприклад щотижнево.

4.2. Програмне забезпечення для отримання даних

На цьому етапі досліджень, під час яких використовуються ЕК системи, немає жодного уніфікованого програмного забезпечення для отримання та первинної автоматичної обробки даних. Частіше використовуються модулі для отримання даних такого програмного забезпечення як EddySoft (Німеччина), ECO₂Catch від ECO₂S (Італія, Карбо-Європа проект) та EddyPro (США та Європа). Останнє, схоже, може стати саме таким єдиним стандартним програмним забезпеченням, принаймні для екологічних досліджень [4].

Довгострокові дослідження та отримання даних за допомогою програмного модуля ECO₂Catch показали його надійність та гнучкість під час моніторингу на агроландшафтах. Основні параметри, які необхідно враховувати, розпочинаючи роботу: період усереднення даних (зазвичай 30 хв.), висоту рослинності (в м), параметри розміщення інструментів (анемометра та газового аналізатора), діапазон очікуваних концентрацій (для швидкої фільтрації грубих помилок інструменту) та метадані про ЕК систему (назва дослідної ділянки, її координати, серійні номери та назви складових частин системи) (рис. 9). Вихідні дані доступні у двох форматах: “txt” та “ene”, кожний файл містить 30-хвилинні дані з частотою від 8 до 20 Гц (тобто 8-20 вимірювань на секунду). Формат “txt” може бути використаний для подальшої обробки даних у сторонніх програмах (наприклад, EddySoft, EddyPro та ін.). Формат “ene” використовується для подальшої обробки даних в програмі ECO₂S.

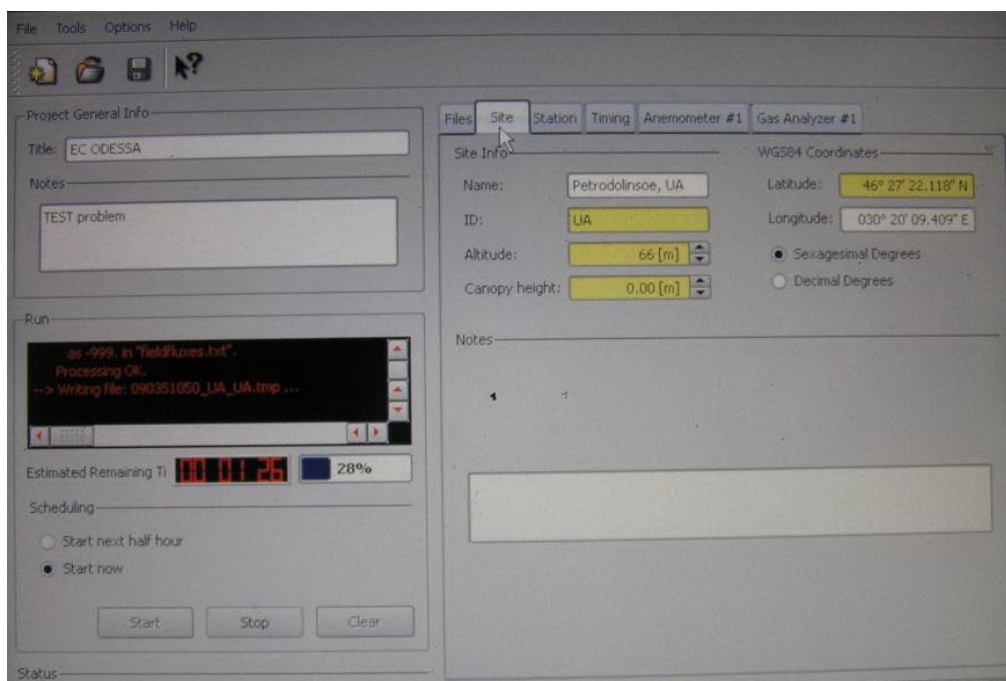


Рис. 9. Приклад вигляду ECO₂Catch

4.3. Програмне забезпечення для обробки первинних даних

Пропонується використовувати ECO₂S або EddySoft для обробки первинних даних. Процес обробки даних буде розглянуто на прикладі програми ECO₂S. Виділяють два основні етапи: пре-процесінг та розрахунок потоків.

Пре-процесінг

Етап пре-процесінгу – це пре-обробка даних, після якої можливо видалити дані, що не пройшли певні тести. Такі дані маркуються під час пре-процесінгу (проходження тестів) та після ретельної перевірки оператором можуть бути виключені з подальших розрахунків. Зазвичай імплементуються такі тести: SR (Spike Removal test = видалення піків), AR (Amplitude Resolution test = амплітудний тест), DO (DropOuts test = тест на наявність крапель від дощу), AL (Absolute Limits test = тест на значення, що випадають), SK = (Skewness & Kurtosis test = статистичний тест), DS (DisContinuity test = тест на виявлення розривів рядів даних), TL (Time Lag test = тест на виявлення затримки (тільки для аналізаторів закритого типу), AA (Attack Angle test = тест кута атаки), NS (Non-steady horizontal wind test = тест на нестійку горизонтальну силу вітру (тільки для ділянок, що

розташовані на схилі) [2, 4]. Після проведення пре-процесінгу для агроландшафтних систем фільтрацію даних необхідно проводити по SR, DO, AR та AL. Рішення про включення або виключення тих чи інших даних приймає оператор системи (необхідно мати деякий досвід). Зазвичай після фільтрації пре-процесінгових даних приблизно від 60% до 80% даних залишаються для наступного етапу.

Розрахунок потоків

Для даного етапу, крім відфільтрованих даних після пре-процесінгу, необхідно мати низку додаткових даних. По-перше, необхідно скласти файл з 30-хвилинними метеорологічними параметрами, такими як температура повітря, атмосферний тиск, вологість повітря, сумарна радіація та фотосинтетично-активна радіація. По-друге, необхідно скласти файл з даними про висоту рослинності та снігу як мінімум з тижневим кроком (щоденний крок є більш бажаним). Ці файли необхідні для розрахунку скорегованих даних потоків CO₂, H₂O та енергетичного балансу екосистеми. Далі проводиться ручний скрінінг отриманих даних на предмет виявлення даних, що «випадають». Рішення про включення або виключення тих чи інших даних приймає оператор системи (необхідно мати деякий досвід). Нижче наведено приклад скрипт-файлу з необхідними налаштуваннями для пре-процесінгу та розрахунку потоків:

```
;ECO2S_DATAPROCESSING
[Project]
creation_date=2010-06-02T12:48:06
last_change_date=2010-06-02T13:51:44
file_name=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S-1.5.0_backup\ini\eco2s_processing.ini
project_title=
sw_version=1.5
ini_version=1.0
project_id=2010
file_type=0 ; 0 - for ene files and 4 - for old files
file_prototype= ; it's not needed for ENE files, for old files - =yydddHHMM_ua.txt
use_pfile=1
proj_file=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S-1.5.0_backup\PTR.ini
use_tfile=1
timeline_file=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\Canopy height\Canopy_height_2009.txt
binary_hnlines=0
binary_eol=0
binary_nbytes=2
binary_little_end=1
```

```

[Project_auxfiles]
cfg_file=

[SpectralCorrection_General]
start_date=
end_date=
spectra_path=
out_path=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results
flux_file=

[SpectralCorrection_ProcessingSettings]
use_meteo=0
use_vmeteo=0
nbins=90
min_smp=15
f_min=0.004
f_max=1
trshld_c=2
trshld_h=20
trshld_e=20

[SpectralCorrection_AuxFiles]
me_file=
vme_file=

[FormatMeteo_General]
data_path=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\Meteo\2010_meteo_for_eddy.txt
out_path=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results
meteo_type=1
tstamp_end=1

[FormatMeteo_Settings]
file_extension=txt
field_separator=0
separator_policy=0
logger=128
date_proto=yyyy-mm-dd
time_proto=HH:MM

[FormatMeteo_VarOrder]
air_temperature=1
air_pressure=2
relative_humidity=3
global_radiation=4

[TiltCorrection_General]
s4_file=
out_path=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results

[TiltCorrection_ProcessingSettings]
max_lack=70
num_sec=1
min_num_per_sec=100
w_max=0.8
u_min=0.05
starting=2010-06-02
ending=2010-06-02
avrg_len=30

[FluxComputation_General]

```

```
start_date=
end_date=
s7_file=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results\eco2s_stats\eco2s_2010_st7.csv
spectra_path=
out_path=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results\flux_output
```

```
[FluxComputation_ProcessingSettings]
```

```
met_shift=0
use_meteo=1
rot_meth=1
wpl_meth=2
hcorr_meth=0
lp_meth=1
lptf=0
nbins=76
add_sonic_lptf=0
detrend_meth=1
timeconst=0
cosp_model=0
hptf=1
qcflag_meth=2
foot_meth=1
avrg_len=30
make_dataset=1
bu_corr=1
bu_multi=0
l_day_bot_gain=0.944
l_day_bot_offset=2.57
l_day_top_gain=1.005
l_day_top_offset=0.24
l_day_spar_gain=1.01
l_day_spar_offset=0.36
l_night_bot_gain=0.883
l_night_bot_offset=2.17
l_night_top_gain=1.008
l_night_top_offset=-0.41
l_night_spar_gain=1.01
l_night_spar_offset=-0.17
m_day_bot1=2.8
m_day_bot2=-0.0681
m_day_bot3=0.0021
m_day_bot4=-0.334
m_day_top1=-0.1
m_day_top2=-0.0044
m_day_top3=0.0011
m_day_top4=-0.022
m_day_spar1=0.3
m_day_spar2=-0.0007
m_day_spar3=0.0006
m_day_spar4=-0.044
m_night_bot1=0.5
m_night_bot2=-0.116
m_night_bot3=0.0087
m_night_bot4=-0.206
m_night_top1=-1.7
m_night_top2=-0.116
m_night_top3=0.0051
m_night_top4=-0.029
m_night_spar1=-2.1
m_night_spar2=-0.02
```

```
m_night_spar3=0.007
m_night_spar4=-0.026
use_iifile=1
```

```
[FluxComputation_AuxFiles]
me_file=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\Meteo\2010_meteo_for_eddy.txt
lptf_file=
fc2rh_file=
dt_file=
qc_file=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results\eco2s_aux\eco2s_2010_qc_test.csv
pf_file=
kj_file=
ii_file=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results\eco2s_aux\eco2s_2010_ini_info.csv
```

```
[PreProcessor_General]
start_date=
end_date=
data_path=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\bin2ascii
out_path=D:\Sveta\Eddy Covariance\ECO2S\!ECO2S_run\Results
recurse=0
tstamp_tol=10
```

```
[PreProcessor_Settings]
nfiles=1
max_lack=10
u_offset=0
v_offset=0
w_offset=0
cross_wind=0
aoa_calibration=1
rot_meth=1
detrnd_meth=1
timeconst=250
tlag_meth=2
tap_win=0
nbins=90
avrg_len=30
make_dataset=1
out_bin_sp=0
out_full_sp=0
```

```
[PreProcessor_Tests]
test_sr=1
test_ar=1
test_do=1
test_al=1
test_sk=1
test_ds=1
test_tl=1
test_aa=1
test_ns=1
```

```
[PreProcessor_ParameterSettings]
sr_num_spk=3
sr_lim=3.5
sr_hf_lim=1.0
ar_lim=7.0
ar_bins=100
ar_hf_lim=70
do_extlim_dw=10
```

```

do_hf1_lim=10.0
do_hf2_lim=6.0
al_u_max=30.0
al_w_max=5.0
al_tson_min=-20.0
al_tson_max=50.0
al_co2_min=300.0
al_co2_max=600.0
al_h2o_min=0.0
al_h2o_max=40.0
sk_hf_skmin=-2.0
sk_hf_skmax=2.0
sk_sf_skmin=-1.0
sk_sf_skmax=1.0
sk_hf_kumin=1.0
sk_hf_kumax=8.0
sk_sf_kumin=2.0
sk_sf_kumax=5.0
dc_hf_uv=4
dc_hf_w=2
dc_hf_t=4
dc_hf_co2=40
dc_hf_h2o=3.26
dc_hf_var=3
dc_sf_uv=2.7
dc_sf_w=1.3
dc_sf_t=2.7
dc_sf_co2=27
dc_sf_h2o=2.2
dc_sf_var=2
tl_hf_lim=20.0
tl_sf_lim=10.0
tl_prop_flags_1=3.5
tl_prop_flags_2=2.5
aa_min=-30.0
aa_max=30.0
aa_lim=10.0
ns_hf_lim=0.5

```

Приклад файлу після розрахунку потоків наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Приклад вихідного файлу після розрахунку потоків

date and time	CO2	H2O	zL	Fc	qcFc	H	qcH	LE	qcLE	tau	qcTau	ustar	Sc	Sw	Sa
yyyy.mm.dd hh:mm	umol/mol	mmol/mol		umol m-2 s		W m-2		W m-2		Kg m-1 s-2		m s-1	umol m-2 s	W m-2	W m-2
01.01.2013 1:00	404,3762	4,09827	7,29E-02	0,258954		-1,29225	0	0,128419		-4,05E-03		8,00E-02			
01.01.2013 1:30	405,0413	4,015861	7,83E-02	0,320422		-1,9132	2	9,13E-02		5,71E-03		8,90E-02	2,95E-03	-10,7059	-0,26244
01.01.2013 2:00	404,7327	4,00598	0,102969	0,166545		-5,17201	0	0,45313		1,66E-02		0,113167	-1,32E-03	-1,51349	2,11E-02
01.01.2013 2:30	404,6525	3,981332	1,583703	0,47898		-4,5633	0	-0,2134		1,44E-03		4,36E-02	6,19E-04	-2,95253	-0,36412

Примітка. CO2 – концентрація CO₂, H2O – концентрація H₂O, Fc – потік CO₂, H – явний потік тепла, LE – потік прихованої теплоти, tau – динамічна температура, ustar – динамічна швидкість, Sc – ефект накопичення для CO₂, Sw – ефект накопичення для H, Sa – ефект накопичення для LE, qc[X] – мітка якості даних.

4.4. Пост-процесінг даних

Пост-процесінг представляє собою доволі складний процес, що поєднує в собі 1) тонку корекцію даних, отриманих після розрахунку потоків базуючись на специфіці геокліматичних особливостей ділянки, де розташована станція, 2) розділення потоків (flux partitioning) за означеннями u^* (динамічної швидкості вітру), 3) розділення та оцінку ефекту накопичення в нічний період базуючись на даних сумарної радіації та сходу і заходу сонця, 4) розрахунок NEE (балансу обмінних потоків CO_2 в екосистемі), R_{eco} (дихання екосистеми), GPP (загальної первинної продукції екосистеми) [14, 16]. Пост-процесінг у зв'язку зі складністю та доволі високими вимогами до оператора реалізується централізовано для всіх учасників проекту FluxNet міжнародною групою дослідників на потужностях Туксійського університету (Італія). Подача даних для такого аналізу можлива тільки он-лайн при належно підготовлених файлах за чітким зразком. Час обробки даних може сягати кількох місяців. Зразки графічних вихідних файлів після пост-процесінгу представлені на рис. 10-12. Вихідні файли містять декілька варіантів заповнення пробілів даних (гапфілінгу), для яких використані різні алгоритми. Наприклад, основними підходами для цього є MDS (метод маргінального розподілу зразків) [19], що є більш простим та менш якісним, та ANN (метод штучної нейронної мережі), що є більш складним та якісним [13, 14]. Часто для представлення кінцевих даних використовується синтез обох методів. Однак оператор дослідної ділянки зобов'язаний використовувати певний метод чи методи у певному співвідношенні.

Пост-процесінгові файли зазвичай представлені трьома видами: годинні, щоденні та щомісячні.

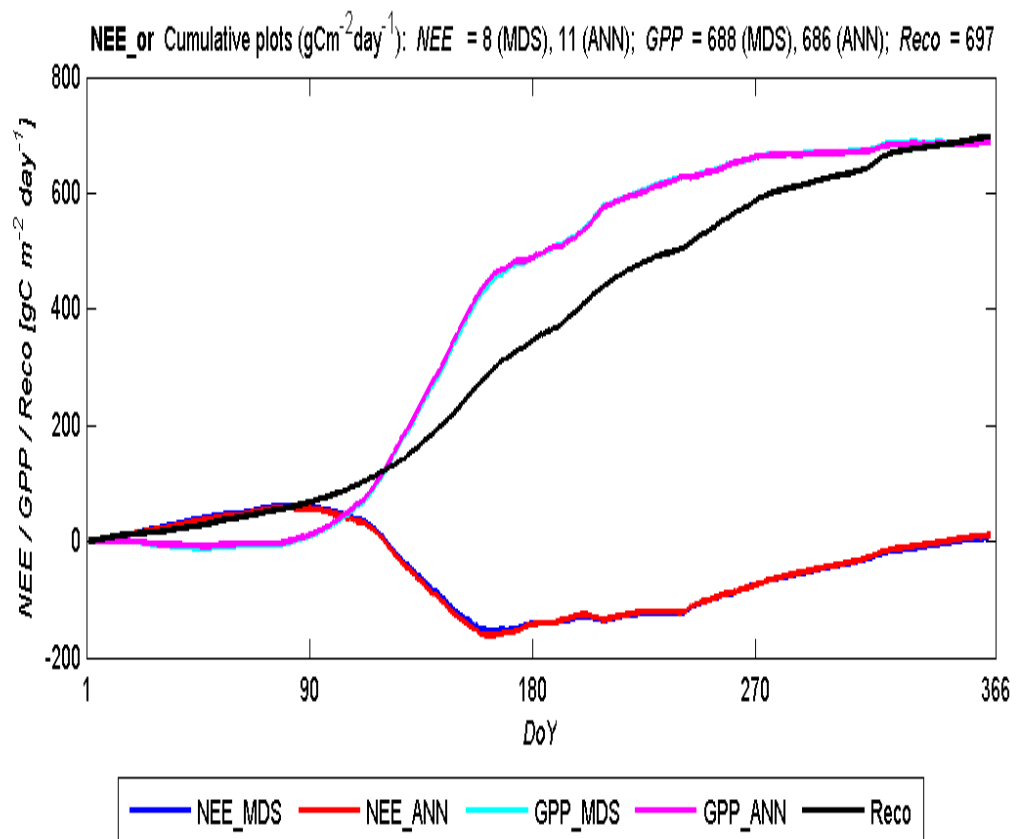
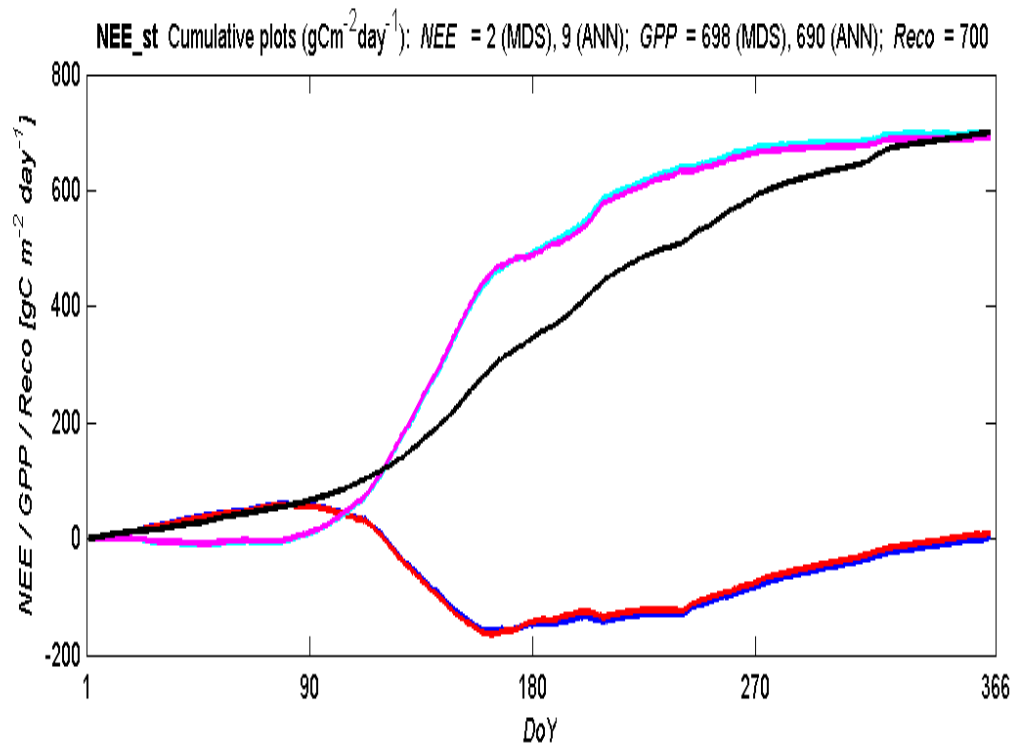


Рис. 10. Зразок графічного вихідного файлу, що містить дані про NEE, GPP (з заповненням пробілів двома методами, MDS та ANN) та R_{eco}

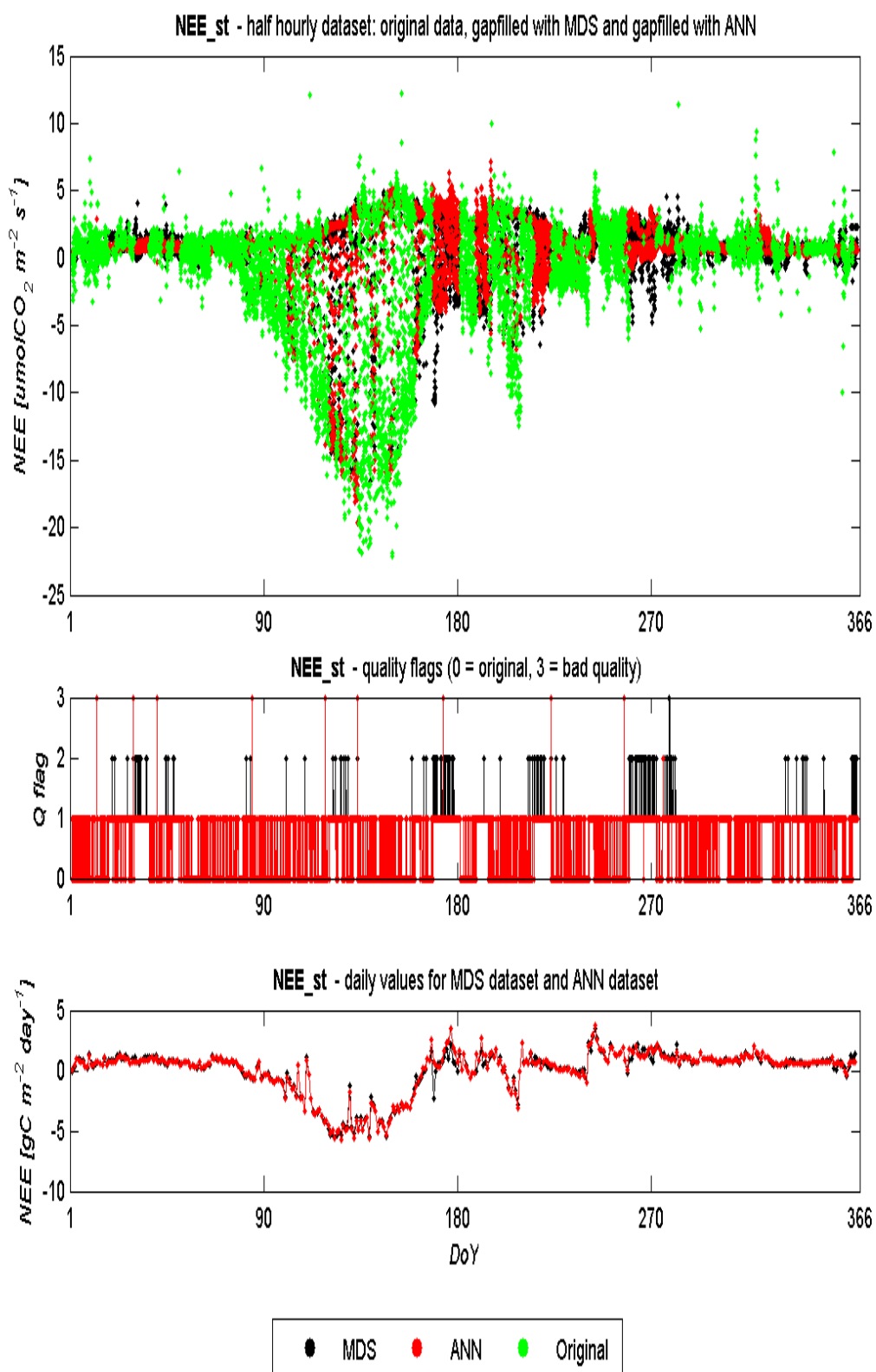


Рис. 11. Зразок заповнення пробілів даних NEE методами MDS та ANN на прикладі 30 хв. масиву в 2010 р. (верхній рисунок); змодельовані дані NEE за допомогою ANN методу (нижній рисунок)

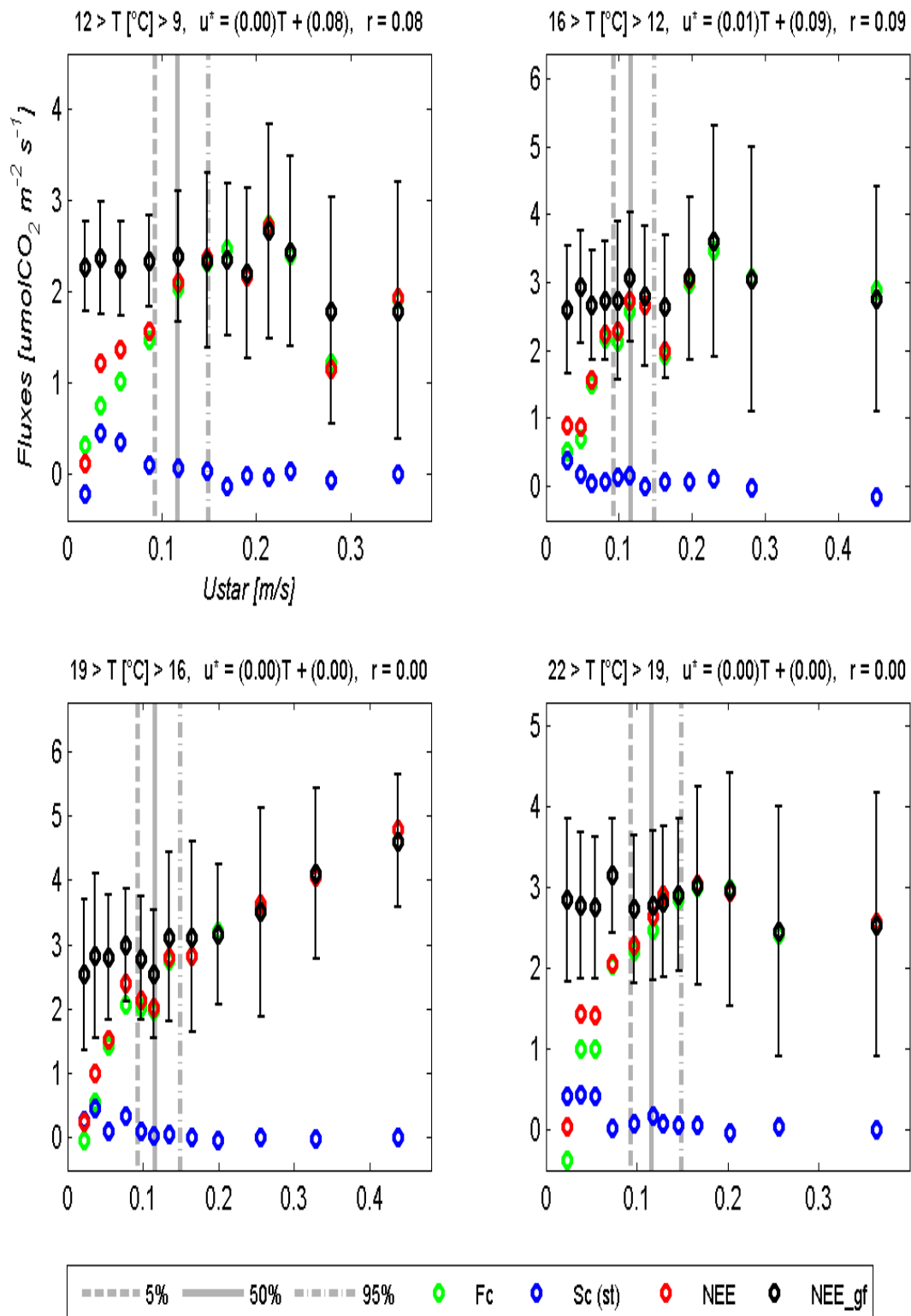


Рис. 12. Зразок файлу розділення потоків NEE за величиною u^* при різних температурах повітря

Наступні параметри відображені у вихідному текстовому файлі (наведені нижче англійською, як в файлі) у вигляді: акронім параметру, опис параметру, одиниця виміру [13]:

- Month (in Daily and Monthly files): from 1 to 12
- Day (in Daily file): day of the month
- DoY (in Daily file): day of the year
- Period (in Weekly file): 8-days period from 1 to 46
- n_days (in Weekly and Monthly files): number of days used to calculate the mean daily value associated with the month or 8-days period
- Rg_f: global radiation filled [MJ m⁻² day⁻¹]
- Rg_sqc: global radiation summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- Ta_f: air temperature filled [°C]
- Ta_sqc: air temperature summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- VPD_f: vapour pressure deficit [hPa]
- VPD_sqc: vapour pressure deficit summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- Ts_f: soil temperature filled [°C]
- Ts_sqc: soil temperature summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- Precip: precipitation [mm day⁻¹]
- SWC: soil water content [%vol]
- H_f: sensible heat flux filled (average of the period) [W m⁻²]
- H_sqc: sensible heat flux summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- LE_f: latent heat flux filled (average of the period) [W m⁻²]
- LE_sqc: latent heat flux summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- Reco_st: ecosystem respiration based on NEE_st [gC m⁻² day⁻¹]
- Reco_or: ecosystem respiration based on NEE_or [gC m⁻² day⁻¹]
- NEE_st_fMDS: NEE_st (see below) filled using the Marginal Distribution Sampling method [gC m⁻² day⁻¹]
- NEE_st_fMDSsqc: NEE_st summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- GPP_st_MDS: gross primary production based on NEE_st filled with the Marginal Distribution Sampling method [gC m⁻² day⁻¹]
- NEE_or_fMDS: NEE_or (see below) filled using the Marginal Distribution Sampling method [gC m⁻² day⁻¹]
- NEE_or_fMDSsqc: NEE_or summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation

- GPP_or_MDS: gross primary production based on NEE_st filled with the Marginal Distribution Sampling method [gC m-2 day-1]
- NEE_st_fANN: NEE_st (see below) filled using the Artificial Neural Network method [gC m-2 day-1]
- NEE_st_fANNsqc: NEE_st summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- GPP_st_ANN: gross primary production based on NEE_st filled with the Artificial Neural Network method [gC m-2 day-1]
- NEE_or_fANN: NEE_or (see below) filled using the Artificial Neural Network method [gC m-2 day-1]
- NEE_or_fANNsqc: NEE_or summary quality flag, indicates the percentage of half hourly data with qc = 0 or 1 used in the aggregation
- GPP_or_ANN: gross primary production based on NEE_st filled with the Artificial Neural Network method [gC m-2 day-1]

Контрольні запитання та завдання для самостійної роботи:

1. Які гази використовують для калібрування ЕК системи? Вкажіть їх основні характеристики.
2. Що таке AGC?
3. Наведіть послідовність стадій калібрування.
4. Які програми для калібрування ЕК ви знаєте?
5. Назвіть стадії обробки первинних даних? Які стадії виконуються автоматично, а яким потрібна участь оператора?
6. Що таке пост-процесінг та гапфіллінг?

5. ДОГЛЯД ЗА ОБЛАДНАННЯМ

Слід підтримувати чистоту всіх зовнішніх і внутрішніх частин ЕК системи. Не рідше одного разу на тиждень ретельно оглядати всі її частини, при необхідності очистити від забруднень, павутини, комах. Особливу увагу приділяти чистоті захисних оптичних лінз газового аналізатора та трансдюсерів ультразвукового анемометра, інакше це може привести до помилок розрахунків концентрації газів та швидкості вітру [7, 19].

Не рідше одного разу щотижнево треба промивати трансдюсери деіонізованою водою (з пульверизатора), з записом до журналу точного часу промивання для того, щоб виключити отримані бланкові значення.

Не рідше ніж раз на тиждень треба промивати оптичні лінзи деіонізованою водою (з пульверизатора), потім необхідно обробити ці лінзи антидощовим репелентом щоб краплі дощу не лишалися на лінзах.

Особливу акуратність і уважність слід приділяти при калібруванні газового аналізатора. Не допускати потрапляння бруду і пилу до трубок, по яких поступає газ високої чистоти або калібрувальна суміш. Щоразу звертати увагу на індикатор «виходу на вимірювальний режим» після калібрування. Після запуску системи треба дочекатися запису як мінімум одного 30-хвилинного файлу, після чого відкрити його, перевірити всі показники, і тільки після цього оператор може відмітити в журналі успішне калібрування та запуск системи і піти зі станції.

Контрольні запитання та завдання для самостійної роботи:

1. З якою частотою слід проводити догляд/обслуговування польового обладнання?
2. Які модулі ЕК системи та як слід обслуговувати?
3. З якою частотою необхідно проводити калібрування ЕК.

6. ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗВІТНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І ТАБЛИЦЬ

Для представлення результатів отримані текстові файли спочатку переконвертовуються у ексель файли. Далі оператор проводить аналіз переконвертованого файлу із застосуванням персонального досвіду для отримання остаточних результатів, що можуть прийматися як достовірні. Потім оператору треба виділити тільки ті параметри, які необхідні для звітних таблиць. У переконвертованому файлі треба представити дані в 15 стовпцях, усіх їх можна розділити на вимірювані (метеостанція або ЕК) і розрахункові:

- 1) номери, один по одному;
- 2) дата та час;
- 3) день місяця, один по одному;
- 4) місяць, один по одному;
- 5) сумарна радіація, Вт м^{-2} (вимірювана метеостанцією);
- 6) температура повітря, $^{\circ}\text{C}$ (вимірювана метеостанцією);
- 7) дефіцит насичення водяної пари, гПа (розрахунковий);
- 8) температура ґрунту, $^{\circ}\text{C}$ (вимірювана метеостанцією);
- 9) кількість опадів, мм (вимірювана метеостанцією);
- 10) вологість ґрунту, $\%$ (вимірювана метеостанцією);
- 11) H , Вт м^{-2} (вимірюваний та скорегований);
- 12) LE , Вт м^{-2} (вимірюваний та скорегований);
- 13) R_{eco} , $\text{мкмоль CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (розрахунковий);
- 14) NEE , $\text{мкмоль CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (вимірюваний та скорегований);
- 15) GPP , $\text{мкмоль CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (розрахунковий).

Для представлення у звіті необхідно використовувати тільки параметри CO_2 та енергетичних потоків, що були скореговані та відфільтровані. Дані представляються у вигляді таблиць у MS Word (табл. 2).

Таблиця 2. Зразок представлення результатів як для щоденного, так і для щомісячного масиву

№, п/п	Дата	H, Вт м ⁻²	LE, Вт м ⁻²	R _{eco} , мкмоль CO ₂ м ⁻² с ⁻¹	R _{eco} , г С м ⁻² д ⁻¹	NEE, мкмоль CO ₂ м ⁻² с ⁻¹	NEE, г С м ⁻² д ⁻¹	GPP, мкмоль CO ₂ м ⁻² с ⁻¹	GPP, г С м ⁻² д ⁻¹
1	01.01.2013	0,19	6,21	0,57	0,59	0,73	0,76	-0,17	-0,18
2	01.02.2013	-0,2	9,38	0,8	0,83	0,76	0,79	0,04	0,04
3	01.03.2013	22,31	23,79	0,84	0,87	0,37	0,38	0,47	0,49
4	01.04.2013	27,07	47,89	1,82	1,89	-1,84	-1,91	3,66	3,79
5	01.05.2013	23,37	83,39	3,66	3,79	-4,41	-4,57	8,07	8,37

Контрольні запитання та завдання для самостійної роботи:

1. Який формат мають первинні файли?
2. Які дані повинні бути представлені/залишені у переконвертованому файлі?
3. В якому вигляді та форматі мають бути представлені звітні таблиці?

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Технологія вимірювань емісії окремих парникових газів (CO_2 та H_2O) за допомогою автоматичної системи Едді Коваріанс є базовим методом на протязі останніх десятиліть, що використовується у всьому світі. Однак постійне вдосконалення цього методу з кожним роком поліпшує точність та розширює межі його використання. Водночас, незважаючи на світовий досвід, в Україні, наскільки нам відомо, постійно діє тільки одна така система (на станції атмосферного моніторингу ОНУ «Петродолинське», що заснована в рамках міжнародного проекту NitroEurope (<http://www.nitroeurope.eu/>) [18] у 2006 р.), що вимірює реальні потоки CO_2 , H_2O і тепла. Навіть для національного кадастру емісії CO_2 розраховуються за стандартним формулами, які часто не валідовані для різних типів ґрунтів півдня України, що призводить до значних помилок при розрахунках. Ми вважаємо, що знання сучасних методів вимірювання з практичним досвідом вкрай необхідні для студентів геолого-географічних та інших природничих спеціальностей. Тому пропонований навчальний посібник, який містить теоретичну частину, основні принципи та методологію вимірювання концентрацій і потоків вуглекислого газу, парів води та енергетичних потоків на сільськогосподарських землях, стане у нагоді щодо розуміння атмосферно-біосферного обміну парникових газів. Крім цього, основні вимоги щодо встановлення системи такого типу (вибір місця, поетапна інсталяція обладнання та підключення), експлуатації (калібрування, налаштування, обробка даних), регулярного догляду за обладнанням та основні прийоми і способи мікрометеорологічних досліджень обмінних процесів парникових газів (на прикладі CO_2) між ґрунтом і приземною атмосферою (які корекції необхідно врахувати, методика розрахунку величин значень потоків, основні способи заповнення пробілів даних) допоможуть майбутнім фахівцям зрозуміти сутність сучасних інтегрованих підходів до дослідження процесів ґрунтоутворення та еволюції ґрунтів і ландшафтів загалом як в умовах природного

саморозвитку, так й інтенсифікації агрогосподарського використання земель. При цьому укладачі пропонованого посібника наголошують на необхідності і доцільності застосування при проведенні досліджень можливостей сучасної електроніки та програмування.

Матеріали посібника будуть корисними при організації і проведенні ґрунтово-генетичних, ландшафтно- і ґрунтово-геохімічних досліджень, а також при виконанні курсових і дипломних робіт студентами геолого-географічного факультету та інших природничих спеціальностей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мединец С.В. Результаты атмосферно-химических исследований парниковых газов N_2O и CH_4 / С.В. Мединец // Вісник Одеського національного університету. Сер.: Географічні та геологічні науки. – 2014. - Т19. –Вип.3(22). – С. 79-91.
2. A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications / Eds: Burba G and Anderson A. – Nebraska, Lincoln: Li-Cor Biosciences, 2010. – 214 p.
3. An Introduction to Boundary Layer Meteorology / Stull R.B. – Boston: Kluwer Academic Publisher, 1988. – 670 p. ISBN 978-94-009-3027-8.
4. Eddy Covariance. A practical Guide to measurement and Data Analysis / Eds: Aubinet M., Vesala T., Papale D. - Dordrecht: Springer, 2012. – 461 p. ISBN 978-94-007-2350-4. e-ISBN 978-94-007-2351-1. DOI 10.1007/978-94-007-2351-1
5. IPCC, 2001. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2001. – 610 p.
6. IPCC, 2007. Agriculture, forestry and other land use / Eds: Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K.; in: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. – Hayama: IGES, 2006. – 490 p.
7. LI-7500 CO_2/H_2O Analyzer. Instruction Manual / Rev. 1. - Nebraska, Lincoln: Li-Cor Biosciences, 2000. – 155 p.
8. Medinets S. Influence of Meteorological Conditions on the CO_2 Concentration in the Air over the Intensively Managed Arable Land in Southern Ukraine / S. Medinets, V. Medinets // NEU IP 4 the General Assembly & Annual Meeting: conference proceedings (Gothenburg, Sweden, 26-29th January 2009). - 2009. - P. 27.
9. Medinets S.V. Changes in soil carbon and nitrogen dynamics during a three year crop rotation on a chernozem soil in the Ukraine / S.V. Medinets, U.M. Skiba, V.I. Medinets, Ya.M. Bilanchin, V.Z. Pitsyk, L.M. Goshurenko, S.S. Kotogura // Odessa National University Herald. – 2014. – V.19. – Issue 2(21). – P. 143-165.
10. Medinets S. A review of soil NO transformation: associated processes and possible physiological significance on organisms / S. Medinets, U. Skiba, H. Rennenberg, K. Butterbach-Bahl // Soil Biology and Biochemistry. – 2015. – №80. – P. 92-117. doi:10.1016/j.soilbio.2014.09.025.
11. Medinets V. Progress and Results of Field Investigations in the NEU Site “Petrodolinskoe”, Ukraine, in 2006-2008 / V. Medinets, S. Medinets, Ya. Bilanchin, V. Pitsik // NEU IP 4 the General Assembly & Annual Meeting: conference proceedings (Gothenburg, Sweden, 26-29th January 2009). – 2009. - P. 42.
12. Medinets V. Overview of Field Investigations in the NEU Arable Site “Petrodolinskoye”, Ukraine (2006-2010) / V. Medinets, S. Medinets, Ya. Bilanchin, V. Pitsyk, S. Kotogura // Nitrogen & Global Change: Key findings – future challenges: conference proceedings (Edinburgh, 11-15th April 2011). – 2011. – P. S9.

13. Papale D. Towards a standardized processing of Net Ecosystem Exchange measured with eddy covariance technique: algorithms and uncertainty estimation / D. Papale, M. Reichstein, M. Aubinet, E. Canfora, C. Bernhofer, W. Kutsch, B. Longdoz, S. Rambal, R. Valentini, T. Vesala, D. Yakir // *Biogeosciences*. – 2006. - №3. - P. 571-583.
14. Papale D. A new assessment of European forests carbon exchanges by eddy fluxes and artificial neural network spatialization / D. Papale, R. Valentini // *Global Change Biology*. – 2003. - № 9. – P. 525-535.
15. Rees R. M. Nitrous oxide emissions from European agriculture; an analysis of variability and drivers of emissions from field experiments / R.M. Rees, J. Augustin, G. Alberti, B.C. Ball, P. Boeckx, A. Cantarel, S. Castaldi, N. Chirinda, B. Chojnicki, M. Giebels, H. Gordon, B. Grosz, L. Horvath, R. Juszczak, A.K. Klemedtsson, L. Klemedtsson, S. Medinets, A. Machon, F. Mapanda, J. Nyamangara, J. Olesen, D. Reay, L. Sanchez, A. Sanz Cobena, K.A. Smith, A. Sowerby, M. Sommer, J.F. Soussana, M. Stenberg, C.F.E. Topp, O. van Cleemput, A. Vallejo, C.A. Watson, M. Wuta // *Biogeosciences*. – 2013. - №10. – P. 2671–2682. doi:10.5194/bg-10-2671-2013.
16. Reichstein, M. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm / M. Reichstein, E. Falge, D. Baldocchi, D. Papale, M. Aubinet, P. Berbigier et al. // *Global Change Biology*. – 2005. - №11. – P. 1424-1439.
17. The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2008 / EMEP Status Report 2010: July 21, 2010. - 2010. – Access mode: http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/ (checked on January 28, 2016).
18. The European Nitrogen Assessment / Eds. Sutton, M.A., Howard, C.M., Erismann, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Glennfeld, P., van Grinsven, H., Grizzetti, B. - Cambridge: Cambridge University Press. – 612 p.
19. WindMaster & WindMaster Pro Ultrasonic Anemometer. User Manual / Doc. № 1561-PS-0001, Issue 2. – Hampshire, Lymington: Gill Instrument Limited, 2007. – 47 p.
20. WMO Greenhouse Gas Bulletin. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2013. -2013. - №10. - 8 p. - Access mode: http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/documents/1002_GHG_Bulletin.pdf (checked on January 28, 2016).

Навчальне видання

**ГРУНТОВО-ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ
ТЕХНОЛОГІЯ ВИМІРЮВАНЬ ЕМІСІЇ ОКРЕМИХ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ
(CO₂ ТА H₂O) ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ЕДДІ КОВАРІАНС**

Укладачі – наукові співробітники та викладачі ОНУ імені І. І. Мечникова:

Медінець Сергій Володимирович - науковий співробітник Регіонального центру інтегрованого моніторингу та екологічних досліджень

Медінець Володимир Іванович - керівник Регіонального центру інтегрованого моніторингу та екологічних досліджень, к. фіз.-мат. наук

Біланчин Ярослав Михайлович - завідувач кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів, к. геогр. н., доцент

Підписано до друку **XX.XX.2016** р.

Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 5,5. Папір офсетний.

Друк цифровий. Наклад 300 прим. Замовлення № **14/07**

Друк – «XXXXXX»

М. Одеса, вул. XXXXXX

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

XXXXXXXXXXXX від XX.XX.20XX р.