

Tam B.Y. The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature variation / Tam, B.Y., Gough, W. A., Mohsin, T. // Urban Climate. – 2015. – Vol. 12. – P. 1-10. **7.** Torres-Valcarcel, A. R. et al. Historical differences in temperature between urban and non-urban areas in Puerto Rico // Int. J. Climatol. – 2015.– vol. 35.– P. 48–61. **8.** Urban Heat Island // Wikipedia [Електронний ресурс] : The Free Encyclopedia. – Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Urban_heat_island. – Назва з екрану. **9.** Voogt J. A. Urban Heat Islands: Hotter Cities [Електронний ресурс] / James A. Voogt. – Режим доступу: <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>. – Назва з екрану.] **10.** Winston, T. L. Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore// Int. J. Climatol. – 2006. – vol. 26.– P.43-60.

Свінцицька Г. І. Дослідження термічного режиму великого міста у світовій практиці. В статті висвітлено дослідження температурних аномалій різних міст світу. Розглянуто основні чинники, що впливають на формування термічного режиму великого міста. Проаналізовано часову і просторову структуру міського острову тепла та його інтенсивність.

Ключові слова: термічний режим, температурні аномалії великого міста, міський острів тепла, інтенсивність острову тепла.

Svintsitska A.I. Research thermal regime of the big city in the World. The articles devoted to the main methodology problems, which can appear during research temperature anomalies in the big city, analyzed the basic factors influencing on forming urban heat island and determine its intensity. The paper presents the overview of literature on the transformation of atmospheric processes in the big city under the influence of human activity and urban environment, describes the thermal regime of the modern big city. One of the best-known urban effects of such development is urban warming; globally cities are almost always warmer than the surrounding rural area. The magnitude of urban warming is highly variable over both time and space. On average, urban temperatures may be 1–3°C warmer, but under appropriate meteorological conditions air temperatures can be more than 10°C warmer than surrounding rural environments.

In typical urban environments, more energy goes into surface heating and less into evaporation, thus increasing heat storage and surface temperature. Moreover, tall buildings create a complex geometry that traps energy and alters airflow, increasing the amount of energy available to heat the urban surface. Heat storage and surface heating in rural areas, on the other hand, are mitigated by the cooling effect of larger areal coverage of green spaces and typically greater abundance of water surfaces. The layout and configurations of buildings cause the variation of microclimate from one location to another.

The articles demonstrate that the microclimatic parameters are significantly influenced by the attributes of urban textures and consequently, buildings within an urban area, are operating against their own individual microclimatic variables rather than the meteorological weather data. This underlines the need for a radical change towards considering the microclimate information for urban planning and building thermal and energy performance assessments.

Keywords: thermal regime, big city temperature anomalies, urban heat island, urban heat island intensity.

Свинцицкая А. И. Исследования термического режима большого города в мировой практике. В статье освещены исследования температурных аномалий различных городов мира. Рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование термического режима большого города. Проанализирована временная и пространственная структура городского острова тепла и его интенсивность.

Ключевые слова: термический режим, температурные аномалии большого города, городской остров тепла, интенсивность городского острова тепла.

Надійшла до редколегії 02.09.2016

УДК 551.50

Антоненко В. С.

Український гідрометеорологічний інститут

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЯК МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА АГРОКЛІМАТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ПОСІВІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Ключові слова: системний підхід, моделювання продукційного процесу, посів сільськогосподарської культури, агроєкоценоз

Постановка проблеми. Розвиток землеробства в напрямку перетворення його в індустріальну галузь пов'язано з впровадженням прогресивних технологій вирощування сільськогосподарських культур

та систем оперативного управління технологічними процесами вирощування, враховуючи суттєву залежність землеробства від погодно-кліматичних умов. Ефективність агрокліматичних досліджень, технологій

виращування та систем управління забезпечується можливістю використання результатів моделювання продукційного процесу посівів. В свою чергу, точність та достовірність моделювання складних систем визначається методологією моделювання. Доведено, що найкращі результати моделювання можуть бути отримані лише за умов системного підходу до досліджень продукційного процесу сільськогосподарських культур.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні доцільності використання системного підходу як методологічної основи агрокліматичних досліджень та динамічного моделювання продукційного процесу посівів сільськогосподарських культур.

Матеріали і методика дослідження. Робота виконана на основі узагальнення літературних джерел з питань методології динамічного моделювання продукційного процесу посівів сільськогосподарських культур.

Результати дослідження та їх аналіз. Для вивчення складних об'єктів, що важко піддаються формалізації і математизації процесів, яким є посів сільськогосподарської культури (агроекоценоз), все частіше використовується системний підхід. Суть його полягає в уявленні розвитку об'єкта сільськогосподарського виробництва як єдиної цілеспрямованої системи об'єктів (входу, мети, процесу, виходу, зворотних зв'язків, обмежень, що накладаються умовами розвитку і технологіями вирощування тощо), у вивченні властивостей цих об'єктів і системи в цілому, вивченні взаємозв'язку між метою і засобами її реалізації, побудові динамічних моделей продукційного процесу і, у кінцевому рахунку, у розробці методів діагностики і прогнозування стану посіву, конкретних рекомендацій щодо вирощування у змінних агрокліматичних умовах [5]. Системний підхід до пізнання біологічного об'єкта передбачає розгляд об'єкта як системи, тобто множини елементів, що взаємодіють, в обмеженому просторі і часі; визначення складу, структури й організації елементів і окремих частин системи, виявлення провідних взаємодій між ними; виявлення зв'язків системи із зовнішнім середовищем і виділення головних з них; аналіз діалектики структури і функції системи; виявлення та моделювання на цій основі закономірностей і тенденцій розвитку системи; розробку комплексу методів впливів на систему з метою

оптимізації її розвитку та методів діагнозу і прогнозу її стану [1].

В основі системного підходу покладено поняття системи, яке у відповідності з абстрактною теорією цього підходу зводиться до наступного [4, 6]: система повністю визначається безліччю вхідних у неї елементів, зв'язками між ними і межами їх організаційної автономії; система становить собою ієрархічну структуру, що охоплює низку підсистем, кожна з яких може отримати автономне визначення і може бути піддана подальшому поділу на більш дрібні структурні одиниці; «вхід» в ієрархію при будь-якому системному дослідженні залежить від цілей дослідження системи; найбільш важливі характеристики системи проявляються з часом, тому для правильного їх розуміння необхідна чітка фіксація тривалості і швидкості процесів, що відбуваються в системі; системи чутливі до впливу навколишнього середовища, в якому вони існують; це середовище, як правило, мінливе, не завжди піддається управлінню і є недостатньо передбачуваним в своєму розвитку.

Системи класифікують на цілісні, у яких зв'язки між елементами міцніші, ніж зв'язки елементів із середовищем, і сумативні, у яких зв'язок елементів між собою того ж порядку, що і зв'язок кожного елемента із середовищем; органічні та механічні; динамічні та статистичні; відкриті та закриті; такі, що самоорганізуються і неорганізовані; керовані та некеровані [4].

На основі вищезазначеного, посів будь-якої сільськогосподарської культури можна розглядати як систему: *цілісну*, оскільки зв'язки між елементами цієї системи міцніші, ніж зв'язки елементів із навколишнім середовищем; *органічну*, оскільки зв'язки всередині системи носять органічний, функціональний характер, тобто функції одного елемента мають тісний причинно-наслідковий зв'язок з функціями інших елементів та системи в цілому (характерною особливістю цих зв'язків є їх багато факторність); *динамічну*, бо кожному елементу системи і всій системі в цілому притаманна властивість розвитку як результат боротьби суперечностей у процесі взаємодії елементів системи; *відкрити*, тому що системі властивий обмін речовиною та енергією з довкіллям (тепло-, волого- та газообмін); *що самоорганізується*, оскільки в свого процесі розвитку система накладає певні обмеження на розвиток її окремих елементів (її розвиток зумовлено генетичним кодом кожного з

елементів); що піддається певною мірою управлінню, оскільки людина з допомогою агротехнічних, агрохімічних і меліоративних заходів може вплинути на характер розвитку агроєкоценозу і на врожайність посіву [5].

Границями системи агроєкоценозу є приземний шар повітря і шар ґрунту, глибина якого визначається ступенем розвитку кореневої системи культурної рослини (для більшості польових культур цей шар становить 100-150 см). У межах цього шару рослини справляють істотний вплив на термічний і вологісний режими, а також на склад ґрунтового розчину. У надземну частину системи крім рослин, входить приземний шар повітря і насамперед межлистовий простір, метеорологічний режим якого суттєво залежить від рослинної маси та архітекtonіки посіву.

Об'єднання елементів у єдину систему відбувається під впливом певних сил, явищ, зв'язків і відносин, які П. К. Анохін [2] називає системоутворюючими факторами. Їх можна розбити на дві групи: *зовнішні* (екзогенні), під якими уявляють сили, явища, зв'язки і відносини, які сприяють виникненню та розвитку системи, залишаючись у той же час чужими для її елементів; вони існують незалежно від системи, не викликаються і не обумовлюються внутрішньою необхідністю елементів до об'єднання; *внутрішні* (ендогенні), які породжуються елементами, що об'єднені в систему.

До зовнішніх (екзогенних) системоутворюючих чинників належать перш за все простір і час, оскільки все, що існує і розвивається, обмежене в просторі і часі. Це атрибутивні чинники, оскільки вони притаманні системі будь-якої природи. По відношенню до агробіоценозів простір як системоутворюючий чинник виступає у вигляді розмірів і відстаней, що обмежують окремі сільськогосподарські угіддя і визначають їх положення відносно інших угідь і ландшафтних утворень, час - у вигляді тривалості окремих процесів та їх чередування (послідовності фаз розвитку посівів сільськогосподарських рослин).

В якості одного з важливих системоутворюючих факторів П. К. Анохін [2] називає також кінцевий результат або мету діяльності системи. Характером мети визначається структура системи, кількість, якість і взаємодія її елементів в процесі розвитку системи. Для рослинних систем, у тому числі для посівів сільськогосподарських рослин, такими факторами можуть бути

врожайність і якість господарсько-корисних органів тощо. Реалізація впливу цих факторів на агроєкоценоз досягається за допомогою комплексу антропогенних чинників.

Для формування і розвитку агроєкоценозу найважливішими зовнішніми системоутворюючими факторами є також ґрунтово-кліматичні ресурси, ландшафт і погодні умови, які визначають можливість існування того чи іншого агроєкоценозу, його склад, архітекtonіку і кінцевий результат життєдіяльності.

До внутрішніх (ендогенних) системоутворюючих чинників агроєкоценозу відносяться наступні [5]:

1. *Спільність природної якості елементів.* Дія цього чинника полягає в тому, що особи одного і того ж виду несвідомо кооперуються в групи, що дозволяє їм легше вижити у конкурентній боротьбі з іншими видами організмів. Основою такої кооперації є однаковість вимог цих особин до факторів життєдіяльності; кожній особі притаманні однакові екологічні ніші.

2. *Взаємодоповнення* — чинник, що забезпечує зв'язок як однорідних, так і різнорідних елементів. В агроєкоценозах дія цього чинника проявляється, наприклад, в тому, що рослини кожної культури в посіві доповнюються характерними для неї іншими біологічними елементами: бур'янами, шкідниками, мікроорганізмами, вірусами. Врахування цього чинника дуже важливе при визначенні культур у сівозмінах при вирощуванні кормових сумішей, змішаних посівах. При цьому види культурних рослин підбирають таким чином, щоб придушити розвиток несприятливих біологічних елементів, за безпечити високу якість і кількість необхідної продукції.

3. *Чинники індукції.* Їх дія виявляється в наявності зворотних зв'язків між елементами агроєкоценозу. Наприклад, зріджування посівів індукує посилення росту і розвитку бур'янів, що в свою чергу сприяє подальшому погіршенню стану посіву; погіршення фітотиматичних умов при загущенні посіву індукує розвиток корневих гнилей, борошнистої роси, полягання рослин тощо.

4. *Зв'язки обміну.* Вони характеризують процеси обміну між елементами системи. В агроєкоценозі – це зв'язки обміну речовиною і енергією між рослинами і ґрунтом, між рослинами і повітрям в межлистовому просторі та приземному шарі повітря тощо.

5. *Функціональні зв'язки.* Вони виникають в результаті взаємодії елементів системи:

наприклад, зв'язки між інтенсивністю газообміну в системі і накопиченням органічної речовини в рослинах, між площею листя і загальною рослинною масою, між врожайністю і елементами врожаю тощо.

6. *Чинники стабілізації системи.* Вони включають в себе жорсткі зв'язки, що за безпечують єдність системи: наприклад, зв'язок кореневої системи і надземної частини рослин, зв'язок і співвідношення між масою різних органів рослин та площею їх поверхні тощо.

7. *Штучні системоутворюючі чинники.* За допомогою цих чинників людиною здійснюється управління розвитком агроєкоценозу. До них відносять агротехнічні, агрохімічні та меліоративні заходи, що безпосередньо впливають на окремі елементи системи і всю систему в цілому.

Вплив системоутворюючих чинників на агроєкоценоз та зміна його стану під дією цього впливу кількісно описується за допомогою так званих керуючих змінних і змінних стану системи [8]. Керуючі змінні характеризують екзогенні системоутворюючі чинники і являють собою входи в систему на будь-якому етапі її розвитку або будь-якої частини її ієрархічної структури. Керуючими вони називаються тому, що керують структурою системи, напрямком і швидкістю її розвитку і визначають кінцевий результат її діяльності. Вони бувають двох типів: *керовані* – входи у систему, які контролюються і змінюються в необхідному напрямку антропогенними факторами (наприклад, запаси вологи при зрошенні і мінеральних речовин у ґрунті) і *некеровані* – входи, що не піддаються управлінню, які характеризуються невизначеністю і, як правило, непередбачувані (кількість опадів, температурний режим повітряних мас, надходження сонячної радіації та інші) [5].

Для агроєкоценозів можна виділити ще проміжну групу керуючих змінних – це параметри, які або частково піддаються управлінню (наприклад, рівень ґрунтових вод на осушених землях), або їх зміна у просторі та часі є достатньо закономірною (детерміновані змінні), що може бути враховано при формуванні відповідного агроєкоценозу (наприклад, врахування тривалості дня і ночі, мікро- і макрорельєфу місцевості, агрокліматичних ресурсів тощо).

Кінцевий результат діяльності агроєкоценозів — формування репродуктивних органів (врожайність), може в значній мірі впливати на окремі вхідні параметри

системи, наприклад, на вміст мінеральних речовин у ґрунті та вологозапаси ґрунту. В такому випадку говорять про наявність зворотнього інформаційного зв'язку в системі [4]. Правильне її використання є істотним моментом у сучасних інтенсивних технологіях вирощування сільськогосподарських культур. За наслідками впливу комплексу системоутворюючих факторів агроєкоценоз та його елементи зазнають кількісні і якісні зміни, які описуються за допомогою змінних стану. Число останніх величезне: маса окремих органів рослин, площа листя, густота пагонів, інтенсивність фізіологічних і біохімічних процесів в рослинах тощо. Завданням системного підходу є виявлення з цієї безлічі тих величин, які є найбільш важливими для розв'язання поставленої задачі. Для цього необхідно штучно зменшити до розумних меж їх число, в іншому випадку формалізація і математизація процесів виявиться недосяжною [8]. Встановивши зв'язок змінних стану з характеристиками впливу екзогенних і ендогенних факторів, можна отримати ключ до діагнозу і прогнозу стану агроєкоценозу, розробки методів управління технологічними процесами при вирощуванні сільськогосподарських культур.

В процесі розвитку системи її елементи безперервно вступають у взаємодію один з одним. В агроєкоценозі має місце безліч взаємодій. Завданням системного підходу є вибір тих, які в даних умовах визначають формування врожаю. Будь-який об'єкт системи характеризується взаємодією із спорідненими об'єктами та їх системою і з якісно відмінними об'єктами і їх системами [1]. Характер взаємодії може бути суперечливим, якщо воно проявляється шляхом боротьби між об'єктами, і несуперечливим, якщо характеризується взаємодоповненням, взаємопідтримкою і кооперацією об'єктів, що взаємодіють. Так, взаємодія споріднених об'єктів (пагонів або окремих рослин) несуперечлива, поки попит кожного з них на фактори життєдіяльності повністю задовольняється, що має місце в початковій фазі розвитку сільськогосподарського посіву або в розрідженому посіві. По мірі загушення посіву настає момент, коли сфери виживання починають перекриватися і взаємодія споріднених об'єктів стає суперечливим - вони вступають у конкурентну боротьбу за джерела життя. Таку взаємодію рослин в посіві називають *ценотичною*.

Важливим фактором при оцінці взаємозв'язку елементів агробіоценоза є невизначеність, з якою доводиться мати справу на різних етапах досліджень та динамічного моделювання. М. М. Моїсеєв [7] розрізняє три види невизначеності: 1) невизначеність (недосконалість) наших знань про довілля і елементи системи, що виявляється в похибках та різного ступеня достовірності інформації; 2) невизначеність впливу антропогенного фактору, який залежить від об'єктивності та оптимальності прийнятих технологічних рішень; 3) невизначеність цілей, що пов'язано з неоднозначністю цілей (наприклад, максимум урожаю при мінімумі витрат ресурсного потенціалу в процесі вирощування культури) і з реальними можливостями їх досягнення. Вищевикладене свідчить, що використання

системного підходу для дослідження процесу формування врожаю сільськогосподарських культур і розробки методів прийняття технологічних та інших рішень в процесі вирощування посівів стикається з труднощами двоякого роду, без подолання яких ефективність цього підходу зводиться до нуля. Це, по-перше, забезпечення досліджень фактичною інформацією про чинники впливу та практичне використання їх результатів, і, по-друге, істотна невизначеність цілей і кінцевого результату дослідження та пов'язані з цим можливі втрати при прийнятті невдалого технологічного рішення. Подолання цих труднощів можливе на шляху динамічного моделювання продукційного процесу агроєкоценозів, яке дозволяє оцінити можливі наслідки різних стратегій і чітко сформулювати цілі» [4].

Список літератури

1. *Аверьянов А. Н.* Системное познание мира / Аверьянов А.Н – М. : Из-во полит. литературы, 1985. – 264 с.
2. *Анохин П. К.* Философские аспекты теории функциональной системы / Анохин П. К. – М. : Мысль, 1978. – 282 с.
3. *Антоненко В. С.* Агрометеорологический мониторинг посевов сельскохозяйственных культур в Украине с применением аэрокосмических методов / Антоненко В. С. – К. : АртЭк, 2002. – 308 с.
4. *Кан Н. А.* Система имитационного моделирования агроценозов / Кан Н. А. // Высокоинтенсивное использование орошаемых земель. – Новочеркасск, 1981. – С. 149-154.
5. *Ковтун И. И.* Оптимизация условий возделывания озимой пшеницы по интенсивным технологиям / Ковтун И. И., Гойса Н. И., Митрофанов Б. А. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 288 с.
6. *О'Коннор Дж.* Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем / Дж. О'Коннер, И. Макдермотт. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2008. – 256 с.
7. *Моисеев Н. Н.* Математические задачи системного анализа / Моисеев Н. Н. – М. : Наука, 1981. – 487 с.
8. *Curry R. B.* Dynamic simulation of plant growth.1. Development of a model / Curry R. B // Trans. ASAE. – 1971. – V. 14, № 5. – P. 946-959.

Антоненко В. С. Системний підхід як методологічна основа агрокліматичних досліджень та моделювання продукційного процесу посівів сільськогосподарських культур. В роботі узагальнено методологічні засади агрокліматичних досліджень та моделювання продукційного процесу посівів сільськогосподарських культур з використання системного підходу.

Ключові слова: системний підхід, моделювання продукційного процесу, посів сільськогосподарської культури, агроєкоценоз

Antonenko V. S. The System approach as a methodological basis of the agro-climatic studies and modelling of production process of agricultural crops. The article summarizes the methodological agro-climatic basis for the study and modeling of production process of agricultural crops with the use of a systematic approach. The effectiveness of agro-climatic research, production technologies and management systems is provided by the possibility of using the results of modeling the production process of crops. In turn, the accuracy and reliability modeling of complex systems is determined by the modelling methodology. It is proved that the best simulation results can be obtained only if the system approach to research of production process of agricultural crops. For the study of complex objects, which are difficult for formalization and mathematization processes as seeding of crops (agroecozones), is increasingly used a systematic approach. Its essence lies in the presentation of the development of the object of agricultural production as a unified purposeful system of objects (input, goals, process, output, feedback, constraints imposed by development conditions and technologies of cultivation, etc.), the study of the properties of these objects and the system as a whole, the study of the relationship between the purpose and means of its implementation, the construction of dynamic models of production process and, ultimately, to develop methods to diagnose and predict the state of the crops, specific recommendations for cultivation in the changing agro-climatic conditions.

A systematic approach to the knowledge of the biological object involves consideration of the object as a system, i.e. a set of elements that interact in a limited space and time; determination of composition, structure, and organization of elements and parts of the system, the detection of the leading interactions between them; the relations of the system with the external environment and the allocation of the main one;

analysis of the dialectic of structure and functions of the system; identification and modeling on the basis of regularities and tendencies of development of the system; development of a set of methods of influence on the system to optimize its development and methods for the diagnosis and prognosis of her condition.

In development system its elements continuously interact with each other. In agroecozones a lot of interactions. The task of the system approach is the choice of those who, in the circumstances, determine the formation of the harvest of agricultural crops.

Keywords: system approach, modelling a production process is, sowing crops, agroecozones.

Антоненко В. С. Системный подход как методологическая основа агроклиматических исследований и моделирования продукционного процесса посевов сельскохозяйственных культур. В работе обобщены методологические основы агроклиматических исследований и моделирования продукционного процесса посевов сельскохозяйственных культур с использованием системного подхода.

Ключевые слова: системный подход, моделирование продукционного процесса, осів сельскохозяйственной культуры, агроэкоценоз.

Надійшла до редколегії 11.08.2016

УДК 551.583:633.4

Вольвач О. В.

Одеський державний екологічний університет

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ ТА ВРОЖАЙНІСТЬ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ В ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

Ключові слова: цукровий буряк, зміна клімату, температура повітря, опади, площа листя, фотосинтез, урожайність

Постановка проблеми. В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря Північної півкулі продовольча безпека України значною мірою буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Враховуючи, що ефективність сільського господарства суттєво залежить від погодних умов, уже зараз необхідно прийняття своєчасних та адекватних рішень щодо складних проблем, зумовлених змінами клімату.

Традиційно, українським лідером з виробництва цукру в регіональному аспекті є Вінницька область. Досвід багатьох господарств Вінницької області свідчить, що при постійному підвищенні культури землеробства можна стабільно одержувати урожаї цукрових буряків не менше 400 – 450 ц/га. Аналіз впливу майбутніх змін клімату на продуктивність посівів дозволить найбільш ефективно використовувати природні ресурси області в нових кліматичних умовах, добитися стійкого зростання величини і якості урожаю цукрового буряку, підвищити віддачу сировинних, енергетичних і трудових ресурсів.

Матеріали та методи досліджень. В Одеському державному екологічному університеті на кафедрі агрометеорології та агрометпрогнозів вже багато років розвивається школа динамічного моделювання продукційного процесу сільсько-

господарських культур, започаткована проф. А. М. Польовим. Вперше для України базову модель формування врожайності сільськогосподарських культур А. М. Польового [1, 2] було застосовано для розробки методу оцінки умов формування врожаю цукрового буряку і прогнозування його середньої по області врожайності у роботі О. В. Вольвач [3].

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів у даному дослідженні були використані розроблені А. М. Польовим моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур:

– модель формування продуктивності агроекосистеми [4];

– результати розробки моделі фотосинтезу зеленого листа рослин при зміні концентрації CO₂ в атмосфері [5].

Інтенсивність фотосинтезу листа описується формулою Монсі і Саекі:

$$\Phi_o^j = (\Phi_{\max} \cdot a_{\phi} \cdot I_{\Phi AP}) / (\Phi_{\max} + a_{\phi} \cdot I_{\Phi AP})$$

Φ_o^j – інтенсивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості в реальних умовах освітленості, мг CO₂/(дм²·год); Φ_{\max} – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні і нормальній концентрації CO₂, мг CO₂/(дм²·год); a_{ϕ} – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу, мг CO₂/(дм²·год⁻¹)/(кал·см⁻²·хв⁻¹); $I_{\Phi AP}$ – інтенсивність фотосинтетично активної