

УЛЬТРАФІОЛЕТ ЯК ЕКОЛОГІЧНИЙ ЧИННИК: ДЖЕРЕЛА, КЛАСИФІКАЦІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ, БІОЛОГІЧНА ДІЯ

Войцицький В.М., Корнієнко В.І., Хижняк С.В., Довбиш О.Б., Мідик С.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

volodymyrV1950@gmail.com

Ультрафіолетове випромінювання (УФ-випромінювання) – це електромагнітне випромінювання, що за довжиною хвилі займає спектральну область між видимим і рентгенівським випромінюванням, а саме в межах 400–10 нм, енергія квантів – 3–120 еВ. За однією із класифікацій виділяють довгі УФ-хвилі: від 400 нм до 315 нм, діапазон А; середні УФ-хвилі: від 315 нм до 280 нм, діапазон В; короткі УФ-хвилі: від 280 нм до 10 нм, діапазон С. За іншою класифікацією УФ-випромінювання поділяється на випромінювання ближньої області (довжина хвиль 400–200 нм) і далекої або вакуумної області (200–10 нм). При довжині хвилі менша 200 нм УФ-випромінювання є іонізуючим. Природними джерелами УФ-випромінювання є Сонце, зірки, туманності та інші космічні об'єкти, а також блискавки, електричні розряди, які виникають при високій напруженості електричного поля в атмосфері. Штучними джерелами УФ-випромінювання є розжарені понад 1200 °С тверді тіла і гази, електричні дугові розряди, газорозрядні лампи (металогалогенні чи ртутієві (ртутні)). Біологічна дія іонізуючого УФ-випромінювання подібна радіоактивному (рентгенівське, γ , α , та β), однак внаслідок малої енергії квантів (6–120 еВ) і високої здатності до поглинання УФ-випромінювання має невелику проникливу здатність. Іонізуюче УФ-випромінювання Сонця та інших космічних об'єктів поглинається озоновим шаром стратосфери Землі і не доходить до її поверхні. Водночас, неіонізуюче УФ-випромінювання Сонця (енергія 3–6 еВ) досягає поверхні Землі. При поглинанні воно здатне викликати збудження біомолекул, що може спричинити їхні структурні зміни. Реакційно здатні біомолекули, які здатні до вступу в хімічні реакції, можуть створювати умови для різного роду змін в організмі. За певних доз неіонізуюче УФ-випромінювання здатне проявляти загальнооздоровчий ефект, сприяти лікуванню деяких захворювань шкіри, фотосинтезу вітаміну D та проявляти інші позитивні ефекти. Водночас, за перевищення визначеного допустимого рівня неіонізуюче УФ-випромінювання може мати негативний вплив на людину. Тому необхідно намагатися уникати прямого сонячного проміння. *Ключові слова:* ультрафіолет, джерела випромінювання, діапазони випромінювання, біологічна дія.

Ultraviolet as an environmental factor: sources, radiation classification, biological effects. Voitsitskiy V., Korniyenko V., Khyzhnyak S., Dovbysh O., Midyk S.

Ultraviolet radiation (UV radiation) is electromagnetic radiation, which in terms of wavelength occupies the spectral region between visible and X-ray radiation, namely in the range of 400–10 nm, the energy of quanta is 3–120 eV. According to one of the classifications, long UV waves are distinguished: from 400 nm to 315 nm, range A; medium UV waves: from 315 nm to 280 nm, range B; short UV waves: from 280 nm to 10 nm, range C. According to another classification, UV radiation is divided into radiation of the near region (wavelength 400–200 nm) and far or vacuum region (200–10 nm). At a wavelength of less than 200 nm, UV radiation is ionizing. Natural sources of UV radiation are the Sun, stars, nebulae, and other space objects, as well as lightning, electric discharges that occur when the electric field is high in the atmosphere. Artificial sources of UV radiation are solid bodies and gases heated above 1200 °C, electric arc discharges, gas discharge lamps (metal halide or mercury). The biological effect of ionizing UV radiation is similar to radioactive (X-ray, γ , α , and β), however, due to the low quantum energy (6–120 eV) and high absorption capacity, UV radiation has a low penetrating ability. Ionizing UV radiation from the Sun and other space objects is absorbed by the ozone layer of the Earth's stratosphere and does not reach its surface. At the same time, non-ionizing ultraviolet radiation from the Sun (energy 3–6 eV) reaches the Earth's surface. When absorbed, radiation can cause excitation of biomolecules, which can cause their structural changes. Reactive biomolecules, which are able to enter into chemical reactions, can create conditions for various kinds of changes in the body. At certain doses, non-ionizing UV radiation can have a general health effect, promote the treatment of some skin diseases, vitamin D photosynthesis and other positive effects. At the same time, if the specified permissible level is exceeded (depends on the dose, energy flow density, wavelength, duration of action, sensitivity of the skin and eyes of irradiated organisms, etc.), non-ionizing UV radiation can have a negative effect on a person. Therefore, it is necessary to try to avoid direct sunlight. *Key words:* ultraviolet, radiation sources, radiation ranges, biological action.

Постановка проблеми. Ультрафіолетове (УФ, лат. *ultra* – понад, за межами та *violet* – фіолетовий) випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що зумовлене випромінюванням атомів при зміні їхнього енергетичного стану і яке займає спектральний діапазон між видимим і рент-

генівським випромінюванням [1]. Довжина хвиль УФ-випромінювання знаходиться в інтервалі від 400 нм до 10 нм ($7,5 \cdot 10^{14}$ – $3 \cdot 10^{16}$ Гц), енергія квантів – 3–120 еВ (1 еВ (електроновольт) $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

Спектр УФ-випромінювання в залежності від джерела може бути лінійчастим (УФ-випромінювання

атомів, іонів, легких молекул, наприклад, H_2), складатися зі смуг (характерно для важких молекул і обумовлено набором електронних, коливальних і обертових переходів молекул) та безперервний (виникає під час гальмування і рекомбінації електронів атомів) [2].

Виникає УФ-випромінювання при температурі понад $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і його густина потоку енергії зростає із підвищенням температури. Природними джерелами УФ-випромінювання є Сонце, зірки, туманності та інші космічні об'єкти, а також наземні джерела – блискавки і так звані «вогні святого Ельма» (електричний розряд, який виникає при великій напруженості електричного поля в атмосфері у вигляді світних пучків на гострих кінцях високих предметів, спостерігається під час грози на щоглах кораблів, кінцях крил літаків, на деревах і навіть чагарниках; за фізичною природою це особлива форма коронного розряду). Штучними джерелами УФ-випромінювання є розжарені понад $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ тверді тіла і гази, електричні дугові розряди, газорозрядні лампи (металогалогенні, ксенонові, ртутні). Вся область УФ-випромінювання умовно поділяється на [1]:

- *довгі УФ-хвилі*: від 400 нм до 315 нм (іноді вказують 320 нм), діапазон А;
- *середні УФ-хвилі*: від 315 нм до 280 нм, діапазон В;
- *короткі УФ-хвилі*: від 280 нм до 10 нм, діапазон С.

За іншою класифікацією УФ-випромінювання поділяється на:

- *ближня область*: від 400 нм до 200 нм;
- *далеку або вакуумну область*: від 200 нм до 10 нм (випромінювання цієї області УФ-спектру поглинається повітрям і його дослідження необхідно проводити в безповітряному просторі, тобто вакуумі).

За Міжнародною класифікацією згідно стандарту ISO 21348:2007 УФ-випромінювання Сонця поділяється наступним чином (табл. 1) [3].

При довжині хвиль УФ-випромінювання менше 200 нм воно є іонізуючим, тобто енергія його квантів може бути більше енергії потенціалу іонізації атомів

[1]. Енергія потенціалу іонізації атома – це найменша енергія, яку необхідно передати орбітальному електрону атома, щоб він залишив межі електронної оболонки атома, тобто щоб утворився іон. Для більшості атомів енергія потенціалу іонізації знаходиться в межах 6–15 еВ. Водночас, за довжини хвилі 200 нм енергія квантів 6 еВ, а 10 нм – 120 еВ [1].

Принциповим є оцінка як позитивної, так і негативної дії за перевищення нормативних значень УФ-випромінювання на живі організми, зокрема людину.

Актуальність дослідження. Іонізуюче УФ-випромінювання Сонця та інших космічних об'єктів ($\lambda=200\text{--}10\text{ нм}$) затримується озоновим шаром Землі, а неіонізуюче ($\lambda=400\text{--}200\text{ нм}$) досягає поверхні Землі та впливає на біоту, в тому числі людину. Крім того, штучні джерела УФ-випромінювання широко використовуються для знезараження поверхонь і води, стерилізації медичних інструментів та матеріалів, ультрафіолетового сушіння тощо, а також в лікувальних і загальнооздоровчих цілях. Утворюються це випромінювання в спеціальних пристроях (газорозрядних лампах, УФ-лазерах та інше), при створенні та застосуванні дугового розряду та в інших процесах. Актуальним є оцінка можливого негативного впливу підвищених доз УФ-випромінювання як на біоту в цілому, так і здоров'я людини.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями. Утворення, джерела і біологічна дія УФ-випромінювання в залежності від довжини хвилі (енергії квантів) є глобальною екологічною проблемою, що має антропоцентричний характер, оскільки можлива негативна дія цього випромінювання оцінюється, насамперед, до умов існування людства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема біологічного значення УФ-випромінювання, неіонізуюча частка сонячного якого досягає поверхні Землі, а також численних штучних джерел, широко досліджується. Важливою темою є встановлення санітарно-гігієнічних нормативів безпечних

Таблиця 1

Класифікація УФ-випромінювання Сонця згідно ISO 21348:2007

№ з/п	Назва спектральної області	Скорочена назва спектральної області	Довжина хвилі, нм
1	Ближня область	NUV	400–315
	Ультрафіолет А (УФ-А) (довгі УФ-хвилі)	UVA	400–315
2	Середня область	MUV	315–200
	Ультрафіолет В (УФ-В) (середні УФ-хвилі)	UVB	315–280
	Ультрафіолет С (УФ-С) (короткі УФ-хвилі)	UVC	280–100
3	Вакуумна область	VUV	200–10
	Далека область	FUV	200–122
	Екстремально далека область	EUV	122–10

рівнів впливу різних за довжиною хвилі (енергії) діапазонів УФ-випромінювання. Результати досліджень природи, джерел, біологічної дії, засобів запобігання надмірної дії тощо УФ-випромінювання викладені у численних публікаціях, зокрема [1, 4–7]. Наведені відомості представлені у більшості без доцільного узагальнення, визначення взаємозв'язку чинників, які визначають біологічну дію УФ-випромінювання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У зв'язку із певними досягненнями при вивченні УФ-випромінювання як явища, його глобального екологічного значення для всієї біоти, виникає потреба в узагальненні існуючих основоположних уявлень щодо як можливої позитивної дії цього випромінювання, так і негативної за перевищення визначених нормативів.

Новизна. Із залученням даних наукової літератури проведено аналіз джерел, біологічної дії УФ-випромінювання; утворення озонового шару, його участь у поглинанні іонізуючого УФ-випромінювання, причин утворення і мінливості озонових дір.

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведена аналітична оцінка біологічної дії УФ-випромінювання з акцентуванням уваги на його негативний вплив за перевищення визначеного допустимого рівня.

Викладення основного матеріалу. Іонізуюче УФ-випромінювання ($\lambda=200\text{--}10\text{ нм}$), як біологічно діючий чинник, у загальних проявах біологічної дії подібне до дії рентгенівського, α , β , γ та інших випромінювань, що відносяться до радіоактивних [1]. В той же час існують специфічні відмінності:

1) УФ-випромінювання різної довжини хвилі поглинаються вибірково відмінними по хімічному складу і конфігурації молекулами, що обумовлює використання цього випромінювання для якісного і кількісного визначення низки речовин, які здатні поглинати УФ-випромінювання;

2) внаслідок відносно малої енергії УФ-квантів і високої здатності до їхнього поглинання біомолекулами, УФ-промені мають невелику проникаючу здатність, а це обумовлює те, що при опроміненні багатоклітинних організмів або їхніх тканин область первинних радіаційних ефектів обмежується тільки поверхневим шаром клітин.

Більш довгохвильове УФ-випромінювання (400–200 нм) є неіонізуючим, оскільки енергія квантів цього випромінювання, яка знаходиться в межах 3–6 еВ для більшості атомів, менше енергії потенціалу іонізації. Поглинання УФ-випромінювання цього діапазону довжин хвиль супроводжується лише переходом орбітальних електронів на більш високий енергетичний рівень (збудженням поглинаючих випромінювання атомів і молекул) [1, 2].

Поверхні Землі серед діапазонів УФ-випромінювання Сонця досягає тільки довгохвильове неі-

онізуюче випромінювання (переважно з $\lambda > 290\text{ нм}$), а іонізуюче – затримується озоновим шаром атмосфери (за наявності озонових дір (див. нижче) УФ-випромінювання цього діапазону тільки ослаблюється [1]). Озон (хімічна формула O_3 , грецьк. *ozon* – той, що пахне) – газ з характерним запахом. Він є алотропною модифікацією Оксигену. Озон утворюється у фотохімічній реакції молекулярного Оксигену (O_2) з енергетичним УФ-випромінюванням: $\text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}$; $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$.

Припускається, що УФ-випромінюванню належала провідна роль у виникненні перших організмів [8]. Нині основне джерело O_2 на нашій планеті – це процес фотосинтезу, а саме утворення рослинами і фотосинтезуючими мікроорганізмами органічних речовин з діоксид карбону (CO_2) і води (H_2O) під дією сонячного світла, що супроводжується виділенням O_2 [9]. З появою O_2 в стратосфері (шарі земної атмосфери) почав формуватися озоновий шар, в межах якого концентрація озону (O_3) в середньому в 10 раз вища, ніж біля поверхні Землі. Озоновий шар знаходиться в стратосфері на висоті від 15 до 35 км. Максимальна концентрація озону спостерігається в тропічних широтах на висоті 25–30 км над рівнем моря, в помірних – 20–25 км, полярних – 15–20 км [10–12]. Відносна концентрація молекул озону в об'ємі озонового шару становить лише 0,001%. Товщина озонового шару, якщо зібрати всі молекули озону до купи разом, складає всього 3 мм.

Озоновий шар відкрили в 1913 р. Ш. Фарбі та А. Буйсон. У 20-х роках ХХ століття озоновий шар активно досліджував Г. Добсон, на честь якого названа одиниця вимірювання озонового шару – одиниця Добсона (од. Добсона, од. Д; англ. Dobson unit, DU). Одна одиниця Добсона (1 од. Д) дорівнює шару озону 10 мкм за нормальних тиску (101325 Па) і температури (0°C, 273,15 К), що відповідає $2,69 \cdot 10^{16}$ молекул/см². Нормальною концентрацією озону в стратосферному шарі вважається 300–400 од. Д. Якщо вміст озону стає менше 200 од. Д, то це характеризує утворення озонових дір.

Вважається, що основними причинами їх виникнення є:

1. Атмосферна циркуляція, яка є причиною потоків повітря у верхні шари атмосфери, що викликає заміну збагаченого озоном повітря стратосфери нижнім (10-ти кілометровим) шаром тропосфери.

2. Стратосферні хмари, які утворюються на великій висоті та холодних умовах внаслідок швидкого охолодження та конденсації водяної пари. Вони складаються з крихітних кристалів льоду або переохолоджених крапель води, що здатні руйнувати озон.

3. Потрапляння в стратосферу внаслідок атмосферної циркуляції озоноруйнівних речовин, які є природного походження (наприклад, серед викидів вулканів), так і антропогенного (утворюються в різноманітних галузях промисловості тощо).

Розміри озонових дір залежать від цілої низки чинників. Насамперед, це географічний пояс, домінуючі метеорологічні умови, сезон року, вплив на кількість Оксигену в стратосфері різноманітних чинників і процесів (зокрема, запусків космічних об'єктів і польотів реактивних літаків), підвищений вміст в стратосфері озоноруйнівних речовин, а також ще інші причини [10, 11].

Усім озоновим дірам притаманна мінливість: їхні розміри то збільшуються, то зменшуються, спостерігаються великі варіації. Одним із пояснень поширення озонових дір: широке застосування в промисловості та побуті фреонів, що широко використовуються в промисловості та побуті (холодильному обладнанні, аерозольних балончиках та ін.), які при потрапленні в стратосферу з висхідними потоками повітря здатні під впливом УФ-випромінювання розпадатися з вивільненням атомів Хлору, які діють як дуже сильний каталізатор, розкладаючи озон до Оксигену. Озон здатний руйнувати і такі сполуки як фторовані, бромовані, йодовані похідні ациклічних вуглеводнів, тетрахлорметан, оксиду нітрогену (NO), нітрату хлору (ClNO₃) та ін.

Безумовно, зменшення вмісту озоноруйнівних речовин в стратосфері, де формується озоновий шар, позитивно впливає на його існування. Це сприяло посиленню контролю за використанням промисловості та побуті озоноруйнівних речовин в низці країн, в тому числі і в Україні [12]. В той же час утворення і розширення озонових дір, яке пов'язують з діяльністю людини (антропогенними причинами), не узгоджується з деякими фактами. Так, зокрема, озонові діри існують (виникають) переважно над південною півкулею Землі, а не над північною, де більше промислово розвинутих країн. Існування озонових дір, як свідчать результати досліджень – явище природне, яке існувало задовго до широкого застосування хлорвуглеводнів та інших озоноруйнівних речовин. З'ясування причин виникнення та існування озонових дір потребує подальших досліджень.

Стосовно загального вмісту озону в стратосфері Землі необхідно відмітити, що цей газ постійно утворюється і руйнується в природному циклі, але його загальна кількість в стратосфері Землі стабільна. Людство поки що не впливає суттєво на ріст і розвиток водоростей в океані, які є основним постачальником O₂ на нашій планеті, а також взагалі на УФ-випромінювання Сонця. Водночас, суттєве підвищення в стратосфері озоноруйнівних речовин, безумовно, може порушити цей баланс.

Випромінювання УФ-спектру, внаслідок малої енергії квантів і високої здатності до поглинання, має малу проникаючу здатність, але в залежності від потоку густини енергії та часу дії здатне як позитивно, так і негативно впливати на організми. В лабораторних умовах джерелами неіонізуючого УФ-випромінювання є низка створених пристроїв

(УФ-лампи, УФ-лазери та ін.), а основні об'єкти дослідження їх впливу – мікроорганізми, культури тканин, а також шкіряні покриви тіла, рогівка ока експериментальних тварин, поверхневі тканини рослин. При встановленні лікувальних властивостей визначених доз УФ-випромінювання досліджується вплив цих променів на внутрішні органи експериментальних тварин за використання УФ-світловодів, які передають випромінювання від їхнього джерела до органу.

Поглинання УФ-випромінювання біомолекулами визначається, в основному, хімічними групами їх складових частин. Так, наприклад, наявність у білках ароматичних амінокислот (головним чином триптофану і тирозину) обумовлює поглинання УФ-випромінювання в області з максимумом біля 280 нм. Адсорбція УФ-випромінювання нуклеїновими кислотами визначається, в основному, пуриновими і піримідиновими основами, які входять в ДНК і РНК, в діапазоні 280–240 нм з максимумом біля 230 нм [9].

До поверхні Землі доходить неіонізуюче УФ-випромінювання Сонця. В Таблиці 2 наведені основні можливі біологічні ефекти прояву довготривалої дії неіонізуючого УФ-випромінювання на організм людини в залежності від довжини хвиль [1].

Водночас неіонізуюче УФ-випромінювання у визначених санітарно-гігієнічних нормах може спричинювати фотореактивацію – репарацію уражених біологічних систем.

Це, зокрема, загальнооздоровча дія (насамперед підвищення імунітету і опірності до інфекцій), прояв протизапальної і безпечної дії при низькій захворюваності (неврити, неврології, радікуліти, міозити, бронхіти), сприяння лікуванню шкірних захворювань і деяких форм туберкульозу [5–7]. Одним із позитивних наслідків дії неіонізуючого УФ-випромінювання є фотобіосинтез вітаміну D, який приймає участь в регуляції обміну Кальцію і фосфатів в організмі [9]. При цьому для запобігання шкідливої дії УФ-випромінювання перебування на відкритому сонячному опроміненні повинно бути обмеженим.

Ультрафіолетове випромінювання при використанні, наприклад, ртутних ламп низького тиску або інших, широкого застосовується для знезараження повітря і дезінфекції приміщень [13], стерилізації продуктів харчування (наприклад, молока), знезараження води тощо.

Безумовно, від УФ-випромінювання існує ціла низка захисних прийомів. Професіональні працівники з джерелами ультрафіолету захищаються спеціальними одягом, масками, окулярами, екранами тощо. Для пересічних людей рекомендовано ряд правил: не перебувати тривалий час на сонці, засмагати треба помірно і користуватися сонцезахисними засобами (кремами, лосьйонами, спреями та ін.), обирати легкий вільний одяг з натуральних тканин, який захищає шкіру від сонця тощо.

Значення довжин хвиль неіонізуючого УФ-випромінювання, які здатні ініціювати негативні біологічні ефекти

Довжина хвилі, нм	Зареєстрований ефект
260–220	Взаємодія з ДНК, наслідком чого може бути мутагенез. Фотокон'ютивіти (запалення слизової оболонки повік та передньої частини очного яблука).
270–275	Фотокератит (запалення рогівки ока).
280	Взаємодія з білками.
295	Еритема (почервоніння) шкіри, що є одним із симптомів запалення.
305	Виникнення катаракти (втрата прозорості, помутніння рогівки і/або кришталика ока).
310	Канцерогенез (в основному злоякісні пухлини шкіри – меланома та немеланомний базальноклітинний і плоскоклітинний рак шкіри).
345	Пігментація шкіри.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Іонізуюче УФ-випромінювання ($\lambda=200\text{--}10\text{ нм}$) у загальних проявах біологічної дії подібне до дії радіоактивних випромінювань внаслідок малої енергії (6–120 еВ) і високої здатності до поглинання біомолекулами, це УФ-випромінювання має невелику проникаючу здатність. Іонізуюче УФ-випромінювання Сонця та інших космічних об'єктів до поверхні Землі не доходить, оскільки воно поглинається озоновим шаром стратосфери. Неіонізуюче УФ-випромінювання

($\lambda>200\text{ нм}$ і до 400 нм) Сонця досягає поверхні Землі. Воно, крім загальнооздоровчого ефекту, сприяє лікуванню деяких захворювань. Однак за перевищення визначеного максимально допустимого рівня здатне в залежності від довжини хвилі, густини потоку енергії, терміну дії, чутливості об'єктів опромінення тощо проявляти низку негативних впливів на біоту, в тому числі на людину. Тому необхідно беззаперечно дотримуватися правил поведінки на відкритому Сонці та при роботі з джерелами УФ-випромінювання.

Література

1. Кутлахмедов Ю. О., Войціцький В. М., Хижняк С. В. Радіобіологія: підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2011. 543 с.
2. Мельничук Д.О. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / Д.О. Мельничук та ін. Київ: ЦП «Компринт», 2016. 289 с.
3. ISO 21348:2007. Definition of solar irradiances spectral categories.
4. Hockberger P. E. History of Ultraviolet. Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms. *Photochemistry and Photobiology*. 2002. 76 (6). P. 561–569.
5. Hu S., Ma F., Collado-Mesa F., Kirsner R.S. UV radiation, latitude and melanoma in US Hispanics and blacks. *Arch. Dermatology*. 2004. № 140 (7). P. 819–824.
6. Сухан В. С. Світлолікування: методичні рекомендації. Ужгород: ФОП Береза А. Е., 2012. 32 с.
7. Шевченко А. Ф. Основи медичної і біологічної фізики. Київ: «Медицина», 2008. 655 с.
8. Войціцький В. М., Рудич В. В. Феномен життя: походження, суть, удосконаленість, тривалість. Історія людства. Видання друге. Київ: «Принтеко», 2021. 189 с.
9. Шелест З. М., Войціцький В. М., Гайченко В. А., Байрак О. М. Біологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Вид-во «Кондор», 2007. 760 с.
10. Лановенко О. Г., Остапівщина О. О. Атмосфера: словник-довідник. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2013. 342 с.
11. Лановенко О. Г., Остапівщина О. О. «Діра» озонна: словник-довідник. Херсон: ПП Вишемирський, 2013. 70 с.
12. Постанова Кабінету Міністрів України № 1411 від 29.12.2007 р. «Перелік озоноруйнуючих речовин, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню» з додатками стосовно кожнорічного уточнення переліку товарів, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню та квот.
13. Наказ МОЗ України № 882 від 06.05.2021 р. «Санітарно-протиепідемічні правила і норма використання ультрафіолетового бактерицидного випромінювання для знезараження повітря та дезінфекції поверхонь в приміщеннях закладів охорони здоров'я та установ / закладів надання соціальних послуг / спеціального захисту населення».