УДК 551.582.1

ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ – ФІЗИКА І ГЕОПОЛІТИКА (ОГЛЯД)

1. АНТРОПОГЕННА ТА ПРИРОДНА КОНЦЕПЦІЇ ЗМІН КЛІМАТУ

Басок Б.І.¹, чл.-кор. НАН України, **Базєєв Є.Т.¹**, канд. техн. наук, **Курасва І.В.²**, доктор геол. наук¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Булаховського, 2, Київ, 03164, Україна, basok@ittf.kiev.ua²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П.Семененка НАН України, пр. Акад. Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна, office.igmr@gmail.com<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2021.5>

Глобальне потепління клімату і т. зв. «парниковий ефект» – одна з найбільш обговорюваних проблем фізики та геополітики, яка викликала протестні екологічні рухи в світі. Використано авторитетні літературні джерела з аналізом антропогенних і природних факторів глобального потепління, в т. ч. з поясненням фізичних процесів, що проявляються при сонячно-геомагнітній активності та інших природних явищах. Визначено основні причини і механізми природного та техногенного характеру по фактичному зростанню емісії парникових газів і глобальної температури в 20-столітті та наведено їх оціночні дані на період до 2100 року.

Глобальное потепление климата и т. н. «парниковый эффект» – одна из наиболее обсуждаемых проблем физики и геополитики, вызвавшая протестные экологические движения в мире. Использованы авторитетные литературные источники с анализом антропогенных и природных факторов глобального потепления, в т. ч. с объяснением физических процессов, проявляющихся при солнечно-геомагнитной активности и других природных явлениях. Определены основные причины и механизмы природного и техногенного характера по фактическому росту эмиссии парниковых газов и глобальной температуры в 20-веке и приведены их оценочные данные на период до 2100 года.

Global warming and so-called the “greenhouse effect” is one of the most discussed problems of physics and geopolitics, which has caused protest environmental movements in the world. Authoritative literature sources with the analysis of anthropogenic and natural factors of global warming are used, including with the explanation of the physical processes which are shown at solar-geomagnetic activity and other natural phenomena. The main causes and mechanisms of natural and man-made nature for the actual growth of greenhouse gas emissions and global temperature in the 20th century are identified and their estimates for the period up to 2100 are given.

Бібліографія 37, рис. 3, табл. 1.

Ключові слова: зміна клімату, глобальне потепління, парникові гази, антропогенна та природна концепції.

Вступ. До проблем сучасного світу – нерівності між багатими і бідними країнами, перенаселенню, виснаженню природних ресурсів додалася і проблема глобального потепління. Останню тісно пов'язують з антропогенним впливом сфери енергетики на клімат.

Енергетика, як одна з галузей економіки та життєзабезпечення, була і залишається базовою основою розвитку суспільства. Зі збільшенням чисельності населення планети зростає і споживання енергоресурсів. Одночасно перетворення енергоресурсів в різні, зручні для використання види енергоносіїв, не обходиться без негативних наслідків для навколишнього середовища. З'являється ряд проблем планетарного масштабу з тривожними прогнозами. До однієї з них, що викликають підвищений інтерес протягом останніх десятиліть, було віднесено помітну зміну клімату, і зокрема, інструментально виявлене глобальне потепління, що стало предметом наукових та соціально-громадських дискусій і обговорень на ряді міжнародних форумів в рамках Міжнародної програми з екології [1].

Проблематика. З середини ХХ століття помітно посилюється тренд підвищення глобальної приземної температури (рис. 1) – одного з показників кліматичної системи Землі.

Наведені на рис. 1 прогностичні моделі RCP, що лежать в основі висновків Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, останній звіт 2014 р.), представляють фізично обґрунтований діапазон можливих зростань глобальної температури протягом наступних кількох десятиліть. Це явище (глобальне потепління) було пояснено посиленням парникового ефекту внаслідок підвищення в атмосфері Землі концентрації так званих парникових газів, що викликають такий ефект (CO₂, CH₄, N₂O, O₃ і ін., рис. 2, [2]). Виявлений зв'язок між підвищенням концентрації CO₂ в атмосфері і зростанням глобальної температури став предметом розгляду вищезазначених ініціатив з аналізу клімату. З'явилися численні публікації в ЗМІ та наукових виданнях з викладом необоротних драматичних для планети і її окремих районів наслідків:

Рис. 1. Глобальна температурна аномалія (°C відносно базової лінії 1901-2000 рр.).

1 – дані (NOAA/CIRES 20CR V2, <https://climateanalyzer.org/clim/explore/>) реаналізу та моделювання NOAA (Національне управління океанічних і атмосферних досліджень – федеральне відомство в структурі Міністерства торгівлі США) та CIRES (інститут досліджень в області наук про навколишнє середовище при університеті Колорадо, США); 2 – експериментальні дані температури повітря на висоті 2 м від рівня суші для північної півкулі Землі; 3-6 – прогнози температурного росту по спряженим моделям СМІР5 для числових експериментів RCP (репрезентативний шлях концентрацій), 3 – RCP2.6 (пік в 2050 рр. і подальше зниження викидів парникових газів, температура в 2100 р. – 1,39 °C), 4 – RCP4.5 (2,3 °C), 5 – RCP6.0 (2,81 °C) і 6 – RCP8.5 (викиди тривають без змін, 4,56 °C).

- підйом рівня світового океану внаслідок танення льодовиків, що призведе до затоплення низинних просторів територій ряду прибережних і острівних країн, підвищенню кислотності океанів;

- порушення біологічної різноманітності: деякі види тварин і рослин не зможуть пристосуватися до нових умов і можуть зникнути, що в свою чергу може викликати зниження врожайності ряду сільськогосподарських культур;

- нестача питної води, міграція комах і як наслідок поширення епідемій (лихоманка, малярія);

- зміна клімату ускладнить доступ до водних і продовольчих ресурсів, що може привести до загострення міждержавних відносин;

- збільшення витрат енергії на кондиціонування в містах.

Знаходяться і позитивні ефекти глобального потепління:

- скоротиться опалювальний сезон – знизиться витрата енергоресурсів;

- північний кордон землеробства пересунеться в більш високі широти;

- потепління в Арктиці полегшить судноплавство і освоєння родовищ вуглеводневих ресурсів на морському шельфі.

Програми адаптації та боротьби з глобальним потеплінням, обговорення систем торгівлі квотами на викиди парникових газів породжують в суспільстві тривоги, протести «зелених» і впливають на світову і регіональну політику і, безумовно, економіку.

Глобальне потепління і клімат як такий стали розглядатися як проблема фізики та геополітики. Організація Об'єднаних Націй, наукові інституції та спільноти виступили з низкою ініціатив з проблеми клімату:

- 1979 р. Перша всесвітня конференція з питань клімату;

- 1988 р. Резолюція ГА ООН № 43/53 закликає до «... охорони глобального клімату в інтересах нинішнього і майбутнього поколінь людства». Створення МГЕЗК з метою збору і оцінки наукової інформації про клімат;

- 1990 р. Перша оціночна доповідь МГЕЗК. Резолюція ГА ООН № 45/212 з закликом до розробки і підписання Глобального договору в сфері клімату;

- 1992 р. На Саміті Землі прийнята Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату (РКЗК ООН) – вступила в силу у 1994 році;

- 1997 р. Підписано Кіотський протокол (додаток до РКЗК ООН) з кількісними національними зобов'язаннями щодо зниження викидів – в дії з 2004 року (перша фаза 2008-2012 рр. і друга фаза – до 2017 року);

Рис. 2. Концентрації основних парникових газів в атмосфері за останні 2000 років [2]

• 2015 р. Паризька конференція – нова угода по спільним зусиллям щодо стримування кліматичних змін і зростання температури.

Мета. Ні Кіотський протокол, ні Паризькі угоди не обійшлися без розбіжностей між учасниками цих кліматичних самітів. Країни мають різні можливості розвитку своїх економік, що не дозволяє пред'являти до них однакові вимоги. Країни, що розвиваються, вважають, що головну відповідальність за зміну клімату повинні нести розвинені країн – вони є головними продуцентами парникових газів. Країни з багатими родовищами традиційних вуглеводнів, які порівняно легко добуваються, насторожено сприймають заклики до скорочення викидів парникових газів і переходу до відновлюваних джерел енергії.

Сучасний погляд на глобальне потепління зводить-ся до наступних положень:

1. Основна причина глобального потепління – монотонне зростання концентрації парникових газів (в основному вуглекислого газу) в атмосфері Землі.

2. Тренд підвищення концентрації парникових газів визначається збільшенням їх антропогенної емісії при спалюванні вуглеводневих енергоресурсів.

3. Глобальне потепління загрожує негативними наслідками для навколишнього середовища і економіки.

4. Необхідно вдосконалювати політику скорочення антропогенної емісії парникових газів.

Для прогнозів глобальної зміни клімату в даний час в якості наукової бази використовуються результати наукових досліджень МГЕЗК, створеної в 1988 році Міжнародною метеорологічною організацією і ООН (в групу входило близько 2500 дослідників і експертів з усього світу). Починаючи з 1990 року МГЕЗК періодично готує наукові оглядові доповіді з прогнозами оцінок зростання концентрації діоксиду вуглецю

в атмосфері і збільшення глобальної температури до кінця XXI століття. Опубліковані доповіді 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 років, планується шоста доповідь (2021-2022 рр.). В кінці 2019 року на кліматичному саміті ООН були представлені чергові матеріали по сучасному стану і проблемам динаміки клімату.

МГЕЗК виходить з антропогенної концепції глобального підвищення приземної температури і розглядає сценарії динаміки атмосферних концентрацій антропогенних емісій. Огляди групи показують, що кількість антропогенних викидів, концентрація атмосферних парникових газів і середня глобальна температура залежать від соціально-економічних сценаріїв розвитку майбутнього світу. На реалізацію сценаріїв в свою чергу впливає цілий ряд невизначеностей – чисельність населення, темпи економічного зростання, впровадження нових ресурсоефективних і енергозберігаючих технологій, альтернативних напрямків технологічних змін в енергетиці: інтенсивне використання викопних видів палива або збалансоване використання всіх енергоресурсів. Облік такого роду ключових невизначеностей в модельних дослідженнях МГЕЗК призводить до того, що можливі прогнозовані оцінки підвищення атмосферної концентрації парникових газів і глобальної температури до кінця XXI століття варіюються в досить широкі межі.

Залежно від сценаріїв розвитку світової енергетики прогнозувалося до 2100 року у порівнянні з кінцем XX століття збільшення концентрації CO_2 від 400 до 790 млн.⁻¹ і температури на 1...4 °C [1]. Були і більш тривожні прогнози – підвищення концентрації CO_2 від 540 до 970 млн.⁻¹ і температури на 1,4...5,8 °C [3]. Відносно безпечним вважається підвищення концентрації CO_2 до 470 млн.⁻¹ [4], і глобальної температури на 1,7 [4], 1,5...1,7 °C [5], на 2 °C [6]. Допускав-

ся значний розкид і в оцінці такого важливого показника як чутливість до зміни вмісту парникових газів в атмосфері при подвоєнні концентрації CO_2 – (1,5...5,5 °C) [7], (1,5...4,5 °C) [1].

Такі розмиті показники прогнозів зміни концентрації діоксиду вуглецю і глобальної приземної температури визначаються обмеженістю наукових знань про механізми складних, недостатньо вивчених природних процесів в природі, важко прогнозованих трендів розвитку світової економіки та енергетики в умовах невизначеності ряду факторів. Цю обставину відзначено і в Кліматичній конвенції, один з ключових пунктів якої говорить: «...відзначити наявність ряду невизначеностей в прогнозах кліматичних змін, зокрема щодо тимчасових, амплітудних і регіональних особливостей» [1]. Рекомендувалося посилити наукові дослідження, удосконалити моделі вуглецевого циклу і клімату, уточнити невизначеності щодо глобального потепління [1]. У міру розвитку науки, раніше висунуті теорії піддавалися все більшій критиці і чимало з них в подальшому були відкинуті. Тому мета роботи – оцінити стан проблеми, представити результати останніх досліджень і рекомендувати заходи щодо можливого зниження парникового ефекту.

Матеріали та методи. У вересні 2019 року (Нью-Йорк, США) відбувся кліматичний саміт ООН, покликаний прискорити процес підписання і ратифікації Паризької угоди. Напередодні (квітень 2019 року) провідні вчені Всесвітньої Метеорологічної організації ООН представили звіт про останні зафіксовані дані щодо глобального потепління. Температура піднялася на 1,1 °C у порівнянні з 1850-1900 рр. і на 0,2 °C у порівнянні з 2011-2015 рр., що призвело до танення льодовиків, підвищення рівня океану. Зростання концентрації парникових газів з 2015 по 2019 рр. перевищує темпи зростання в попередні п'ять років на 20 %. Щорічні втрати маси льоду в Арктиці збільшилися в 6 разів – з 40 Гт у 1979-1990 роках до 252 Гт на рік в 2009-2019 роках [8].

Не всі фахівці і наукові колективи поділяють такий драматичний підхід і висновки МГЕЗК. Частина з них, не відносячи себе до противників реальності антропогенного впливу на підвищення температури, оцінює тривожні прогнози цієї групи по збільшенню концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері та підвищенню температури до кінця XXI століття як явно завищені, що не враховують тенденції зниження світового енергоспоживання, яка з'явилася в останні десятиліття, а пропозицію про необхідність прийняти вже зараз превентивні заходи по обмеженню викидів – як недостатньо аргументовані. За різними сценаріями і моделям до кінця століття гло-

бальне середньорічне потепління складе 1,2...2,6 °C і 0,9...1,2 °C [9], а чутливість глобальної кліматичної системи – 1,9 °C [7].

Найбільш послідовними опонентами МГЕЗК виступили наукові групи від Російської академії наук [5, 10, 11] і науково-дослідної лабораторії глобальних проблем енергетики Московського енергетичного інституту [12]. Використовуючи принципово різні методики, ці наукові групи прийшли практично до однакових результатів в прогнозних оцінках збільшення концентрації CO_2 в атмосфері і підвищення глобальної температури до 2100 року. Результати прогнозів МГЕЗК були оцінені як помилкові і сценарії глобального потепління як драматичні. Огляд робіт опонентів з порівняльним аналізом основних розбіжностей з висновками МГЕЗК наведено в [13, 14]. Розбіжності стосуються двох основних проблем, а саме: визначення чутливості кліматичної системи і прогнозу концентрації CO_2 в атмосфері. Від ступеня наукової аргументації висновків з цих проблем залежить обґрунтованість пропонованих заходів і рішень по обмеженню викидів двоокису вуглецю, що підлягають узгодженню на міжнародному рівні.

Разом з антропогенною концепцією глобального потепління (підхід МГЕЗК) розглядається і природна концепція потепління клімату. Не заперечуючи впливу антропогенних викидів на збільшення глобальної температури, прихильники природної концепції потепління клімату вважають, що все ж таки визначальними факторами підвищення приземної температури є природні, пов'язані з космогенними циклічними процесами, з сонячно-земною взаємодією (обертання Землі навколо Сонця, прецесія осі обертання Землі, цикли сонячної активності та ін.) [15-20]. Є й підходи, що змінюють місцями причини та наслідки глобального потепління, а саме: зміни атмосферної концентрації діоксиду вуглецю – наслідок глобальних змін температури планети, а не їх причина. Прогрів Світового океану повинен призводити до зменшення розчинності CO_2 в морській воді і викиду надлишку CO_2 в атмосферу [15, 21].

Варто відзначити, що в цьому контексті велику кількість як вітчизняних, так і зарубіжних вчених геологічного профілю визначають як ключовий чинник генерації парникових газів процеси глибинної дегазації Землі (ГДЗ). На думку українських геологів [22], ГДЗ – головна рушійна сила ендегенних геологічних процесів, а скрізьформаційні флюїдопровідні системи (тріщини, розломи в земній корі) є основними каналами ГДЗ в літосфері. Уявлення про мантийні плюми, як про базові (мега) труби дегазації, система яких контролює глобальні процеси ГДЗ, дозволяє об'єднати практично

всі основні аспекти ендегенного рудоутворення, нафтогенезу і формування парникових газів на Землі. При цьому вивчення процесів ГДЗ реалізується переважно за допомогою сучасних геофізичних методів досліджень.

На противагу гіпотезі про переважання на Землі парникових газів техногенного походження і ключовому впливу антропогенних факторів на зміну планетарної температури, російський геолог А.В. Ніколаєв [23] стверджує, що саме відновлені гази (H_2 , CH_4 , H_2S), які є похідними висхідного потоку вихідного флюїду в надрах Землі, взаємодіючи з киснем силікатів мантії і гірських порід земної кори, викликають виділення тепла, а також ініціюють магматичні і гідротермальні процеси. При цьому частина висхідного флюїду проривається до верхніх горизонтів земної кори, а його похідні у вигляді струменів водню, гелію, метану, сірководню досягають земної поверхні і потрапляють безпосередньо в атмосферу.

Уявлення про процеси ГДЗ в зв'язку зі змінами глобальної температури активно досліджуються вченими-геофізиками. Зокрема, наукові результати, викладені в [24], підтверджують теорію щодо утворення флюїдів у верхній частині астеносфери і подальшого вивільнення парникових газів в атмосферу Землі крізь тріщини і розломи. Була розглянута сукупність процесів, які протікають в мантії від часу утворення астеносфери до її кристалізації. Запропонована і теоретично обґрунтована модель, в якій астеносферу розглядають як відкриту систему, а тонкий шар на її покрівлі – як реактор, в якому відбувається акумуляція активних компонентів. Саме відносно невелика потужність шару максимального плавлення забезпечує вплив на диференціацію розплаву елементів, вміст яких у мантії в цілому незначний. Крізь реакційний об'єм проходить потік активних компонентів, в ньому відбуваються фізико-хімічні взаємодії. Далі в процесі активізації значна частина продуктів реакцій вивільняється до земної поверхні у вигляді розплавів (ексгаліцій).

Результати. Глобальне потепління як проблема фізики досить докладно розглянуте в [15]. Нижче коротко проанотовані основні положення [15].

Термін «клімат» («нахил» – з грецької) ввів давньогрецький астроном Гіппарх (190-120 рр. до нової ери), що розділив Землю на п'ять широтних зон – полярні, помірні і тропічну, що відрізнялися нахилом сонячних променів (тобто висотою Сонця над горизонтом). Гумбольдт (Німеччина) запропонував враховувати вплив підстильної поверхні суші і океану на атмосферу. Докучаєв (1857-1903) розвинув і деталізував теорію широтної і вертикальної географічної, в тому числі

кліматичної зональності поверхні суші. Були побудовані численні кліматичні карти середніх температур, опадів, атмосферного тиску для різних сезонів, для року і т. п.

З сучасних позицій клімат визначається як статистичний ансамбль станів, які кліматична система океан-суша-атмосфера (ОСА) проходить за періоди часу в декілька (близько трьох) десятиліть. Міжнародними метеорологічними конференціями (Варшава 1935 р., Вашингтон 1957 р.) було рекомендовано для визначення сучасного клімату атмосфери вибирати тридцятирічні періоди осереднення.

Основним джерелом енергії для процесів в кліматичній системі Землі є падаючий на Землю потік сонячного випромінювання (інсоляція). Його значення (сонячна стала) на середній відстані від Землі до Сонця дорівнює близько $1367 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. Цьому відповідає світимість Сонця (повна потужність сонячного випромінювання) близько $3,83 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ і ефективна температура сонячного випромінювання 5770 К .

Основна задача теорії клімату – визначити поля температури в кліматичній системі ОСА з властивими їм коливаннями в часі. Цій задачі підпорядковані дві інші, а саме:

1. визначення глобальних горизонтальних неоднорідностей поля температури, що створюються різницею інсоляцій в екваторіальних і полярних зонах при згладжуючому впливі великомасштабних рухів, що генеруються температурними неоднорідностями, і відповідного теплообміну в атмосфері і океані.

2. визначення вертикальних неоднорідностей температурного поля, включаючи «парниковий ефект», що створюються на Землі (з майже прозорої для основної частки сонячного випромінювання земною атмосферою) нагріванням її поверхні і згладжуючим впливом вертикального теплообміну внаслідок термічної конвекції, домінуючою в нижніх шарах атмосфери, променевого переносу власного випромінювання поверхні землі і атмосфери, домінуючого у верхніх шарах.

Суть вищезазначеного парникового ефекту полягає в наступному. У нижньому десятикілометровому шарі атмосфери температура в середньому зменшується з висотою, тому що сонячне короткохвильове випромінювання поглинається в атмосфері слабо і, досягаючи поверхні Землі, нагріває її, а власне довгохвильове випромінювання, навпаки, сильно поглинається в атмосфері, підвищуючи її температуру. Цей процес не є рівномірним – в одних регіонах температура змінюється швидше, в інших – повільніше.

В атмосфері Землі на висотах близьких до 5 км фіксується температура 255 К . Середня приповерхнева

температура шару повітря на висоті метеорологічного пункту близька до 288 К. Різниця цих температур в 33К характеризується як парниковий ефект (за аналогією з таким ефектом в парниках, теплицях). За інших рівних умов, чим більше парниковий ефект, тим тепліші нижні шари атмосфери. Без парникового ефекту приповерхнева температура не перевищувала б -18°C , а це означає відсутність умов для життя. Вода на земній поверхні існувала б тільки у вигляді льоду. Таким чином, головними механізмами, що забезпечують стабільність температури на поверхні Землі, є сонячне випромінювання і парниковий ефект.

Довгохвильове випромінювання інтенсивно поглинається цілим рядом наявних в атмосфері так званих парникових газів, основними з яких є водяна пара (найбільш ефективний поглинач), діоксид вуглецю CO_2 , метан CH_4 , закис азоту N_2O , озон O_3 і інші (таблиця). Як видно з таблиці, головним парниковим газом є водяна пара, а не вуглекислий газ. Властивості водяної пари як парникового газу було відзначено Д. Тіндалем ще в 1863 році [15]. Вуглекислий газ є другим за значимістю, але втричі меншим за обсягом парникового ефекту (див. табл.). Глобальне ж потепління пов'язане з посиленням парникового ефекту.

Роль вуглекислого газу, як парникового, була показана С. Арреніусом (1896 р.) і Т. Чемберленом (1899 р.). Збільшення концентрації CO_2 в період 1956-1997 рр. з 315 до 360 млн.⁻¹ стало підставою висунути гіпотезу про антропогенний внесок у потепління клімату саме вуглекислого газу внаслідок спалювання викопного палива. Вперше про таку гіпотезу заявив Д. Каллендор ще у 1938 р. Головний же парниковий газ (водяна пара) не став предметом пильної уваги при розгляді зв'язку температури і вмісту водяної пари в атмосфері. У той же час в цілому ряді авторитетних джерел відстоюється осо-

блива, домінуюча роль саме водяної пари в підвищенні глобальної температури [15, 25, 26].

Значний внесок у вібрацію клімату вносять завислі в атмосфері частки – аерозоль природного (до 90%) і антропогенного походження. При цьому, аерозоль може викликати як парниковий так і антипарниковий ефекти. Якщо аерозоль пропускає більшу частину теплового випромінювання Землі, то температура атмосфери під аерозольним шаром може виявитися нижче, ніж за відсутності аерозолу (антипарниковий ефект). Але при деяких поєднаннях властивостей аерозолу (просторова і часова мінливість характеристик) він може посилювати парниковий ефект [15]. Крім водяних крапельок і кристалів водяного льоду в хмарах визначають наступні види тропосферного аерозолу:

1. морський аерозоль – частинки солі, які випарувалися з бризків води морських хвиль. Інтенсивність їх утворення значна (до $1 \text{ Гт} \cdot \text{рік}^{-1}$) і визначається в основному швидкістю вітру. Аерозоль досить швидко осідає або вимивається, не проникаючи через «хмарний фільтр» на висоті до 3-х км.

2. сульфатний аерозоль – субмікронні частинки, що містять сульфат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, бісульфат NH_4HSO_4 і сірчану кислоту в водному розчині. Вони утворюються в атмосфері в реакціях окислення відновлених з'єднань сірки, що виділяються океанським фітопланктоном. Сульфатні частки вносять найбільший внесок в антипарниковий ефект.

3. пустельний аерозоль – мінеральний пил з частинок глинистих мінералів під час пилових буревіїв. Середня концентрація частинок – 300 мкг/м^3 , але в поверхневому шарі під час бурі зростає в 3...10 разів.

4. біогенний аерозоль – летючі органічні речовини, що виділяються рослинами, особливо вічнозеленими, а також деякими бактеріями, грибами і комахами.

Таблиця. Парникові гази атмосфери Землі

Парниковий газ	Концентрація чи вміст парникового газу	Внесок в парниковий ефект, градусів Цельсія
Водяна пара, H_2O	$2,5 \text{ г} \cdot \text{Кг}^{-1}$	20,6
Діоксид вуглецю, CO_2	355 чнм	7,2
Озон, O_3	343 ED*	2,4
Закис азоту, N_2O	0,28 чнм	1,4
Метан, CH_4	1,3 чнм	0,8
Сірчистий газ, SO_2	$2 \cdot 10^{-3}$ чнм	0,8
Фреон, чотирихлористий вуглець, аміак та ін.	$1 \cdot 10^{-4}$ чнм	0,8

* ED – одиниця Добсона. $1 \text{ ED} = 2,7 \cdot 10^{16}$ молекул см^{-2} [15]

Емісія таких речовин може бути до $0,2 \text{ Гт} \cdot \text{рік}^{-1}$ середня концентрація в атмосфері невисока (близько 50 мкг/м^3).

5. димовий аерозоль – дим, сажа та інші продукти згоряння при лісових, степових та інших пожежах. Сумарні викиди в широкому діапазоні – $(0,003-0,150 \text{ Гт} \cdot \text{рік}^{-1})$.

6. вулканічний аерозоль – сульфатний аерозоль з вулканічних газів і вулканічний попел – викинуті в атмосферу частинки роздроблених і розпорошених вибухами гірських порід. Вихід такого аерозолю близько $0,004 \text{ Гт} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Є також два види антропогенного аерозолю. Кількість його на порядок менша природного, але викиди їх можна порівняти з природними. Промисловий сульфатний аерозоль – частинки, що утворюються в атмосфері з сірчастого газу SO_2 при спалюванні палива, особливо вугілля, на електростанціях, при виплавці металів, виробництві сірчаної кислоти та в інших технологіях. Промисловий пил – викиди гірничодобувної промисловості, цементних, металургійних і інших заводів. Ці два види промислового аерозолю становлять не менше $0,045 \text{ Гт} \cdot \text{рік}^{-1}$.

В межах України характерним прикладом території з значною кількістю промислового пилу в атмосферному повітрі є м. Маріуполь [27]. Індекс забруднення атмосфери тут становить 17,7 умовних одиниць, і за цим параметром місто є абсолютним лідером серед інших промислових регіонів країни. При цьому валовий вміст важких металів в пилових викидах становить (мг/кг): Mn – 4300, Ni – 60, Co – 4, V – 210, Cr – 600, Mo – 4, Cu – 286, Pb – 1088, Zn – 5825, Sn – 26.

Антипарниковий ефект аерозолю в цілому невеликий, хоча сильні виверження вулканів і великі лісові пожежі (Росія, Бразилія, 2019 рік) вносять істотний внесок у вібрацію клімату [15].

При всій простоті визначення поняття «парниковий ефект» ... «прямий розрахунок парникового ефекту виявляється важкою справою через складність спектрів поглинання парникових газів» [15]. Фізика парникового ефекту досить детально представлена в [15]. Згідно [15] необхідно вирішувати завдання по визначенню глобальних горизонтальних неоднорідностей поля температури внаслідок різниці інсоляцій в екваторіальній і полярних зонах, а також вертикальних неоднорідностей температурного поля, включаючи парниковий ефект, внаслідок вертикального теплообміну за рахунок термічної конвекції (з урахуванням вертикального перенесення звичайної теплоти і прихованої теплоти випаровування, теплоти ка переноситься водяною парою). Для цього розглядають і описують «горизонтальні» процеси тепло- і масопереносу між екваторіальною і полярною зо-

нами і вертикальні процеси радіаційно-конвективного тепло- і масопереносу по вертикалі, включаючи парниковий ефект водяної пари і малих газових домішок, та радіаційного теплопереносу в атмосфері, замуненою аерозольною суспензією з включенням її антипарникового ефекту. «Переконливі розрахунки парникового ефекту можливі, звичайно, лише при використанні повних (тривимірних нестационарних) чисельних моделей загальної циркуляції атмосфери з детальним описом променистого і конвективного теплообміну, при обліку хмарності і аерозолю» [15]. Зараз же для якісного розуміння суті парникових процесів побудована оціночна теорія, що викладена в [15].

Немає єдиної думки фахівців і про природу парникового ефекту. Як відомо, МГЕЗК пояснює підвищення глобальної температури монотонним зростанням концентрації в атмосфері парникових газів, головним чином, діоксиду вуглецю, внаслідок їх антропогенних викидів. Не всі в науковому співтоваристві поділяють підхід МГЕЗК про визначальну роль антропогенних викидів в підвищенні глобальної температури. Наявність парникового ефекту ніхто не заперечує, але по іншому визначають природу такого ефекту. Наприклад, фахівці з фізичної оптики нижньої атмосфери пояснюють природу сучасного глобального потепління впливом факторів сонячно-магнітної активності (спалахи на Сонці, магнітні бурі) [25]. Потік мікрохвиль з іоносфери утворює в тропосфері з кластерів водяної пари конденсаційно-кластерну димку, що переходить в оптично тонку хмарність (у вигляді «молодих» перистих хмар), яка екранує потік тепла в космос з нижньої тропосфери і підстильної поверхні. Відбувається розігрів приземного повітря і поверхні світового океану [25]. Пари води – основний парниковий газ в тропосфері і його зміст набагато більше (до 36...70 %) у порівнянні (9...26 %) для CO_2 , (4...9 %) метану або (3...7 %) озону [25]. Таким чином, кластероутворення з парів води, що призводить до створення оптично тонкої хмарності, стає основною причиною сучасного глобального потепління в епоху проходження в кінці ХХ-го початку ХХІ століття як сонячної так і геомагнітної активності. Викид парникових газів антропогенного походження (головним чином діоксиду вуглецю, метану), може посилювати ефект глобального потепління.

Як зазначається в [25], дослідження сонячно-геомагнітної активності і техногенного електромагнітного шуму (що виникає в тому числі в передавальних пристроях мобільного зв'язку) дозволять краще зрозуміти механізм впливу порівняно слабких впливів на біосферу і навколишнє середовище, зокрема, і на погоднокліматичні характеристики.

Є й інші дослідження про зв'язок потепління зі збільшенням хмарності [28]. На основі аналізу метеорологічних і аерологічних даних, отриманих на станції Восток (Антарктида), були виявлені значні варіації рівня хмарного покриву і температури повітря, пов'язані з варіаціями рівня галактичних космічних променів і міжпланетного магнітного поля. «Посилення хмарності на висотах нижче 8 км викликає потепління приземної температури атмосфери, ймовірно, за рахунок парникового ефекту, відсутність вихолоджування поверхні Землі» [28].

Сценарії антропогенного посилення глобального парникового ефекту, термічні, гідрологічні режими і основні висновки для можливих температурних змін клімату в Україні були розглянуті на початку 90-х років ХХ століття і представлені в [29]:

1. при глобальному антропогенному потеплінні приблизно на 1°C (в першій чверті ХХІ століття) в південних районах України рівень потепління практично збігатиметься з глобальним, а в північних – може посилитися до 40%.

2. широтний градієнт температур на території України буде по абсолютній величині зменшуватися до 10 % (в сучасну епоху широтний градієнт приземної річної температури – близько $0,8^{\circ}\text{C}$ на 1° широти).

3. якщо річна глобальна температура підніметься на 3°C (близько середини ХХІ століття), то температурний режим північних областей України може стати подібним температурному режиму її південних регіонів.

Відзначається, що отримані рядом дослідників результати математичного моделювання динаміки земної кліматичної системи для створення сценаріїв RCP регіональних змін клімату при антропогенному посиленні парникового ефекту поки малонадійні. Труднощі тут – в недостатньо глибокій вивченості всієї сукупності фізичних процесів, які формують широтно-довготний розподіл полів температури та інших кліматичних параметрів (суми опадів, мінливість погоди та ін.)

Публікація прогнозів через десять років показала, що в Україні підвищення середньої приземної температури в період 1900–2000 рр. склало $0,4 \dots 0,6^{\circ}\text{C}$, причому по регіонах: північний схід – близько 1°C , полісся і лісостеп – $0,7 \dots 0,9^{\circ}\text{C}$, степ – $0,2 \dots 0,3^{\circ}\text{C}$. За порами року: взимку – $1,2^{\circ}\text{C}$, навесні – $0,8^{\circ}\text{C}$, влітку – $0,2 \dots 0,3^{\circ}\text{C}$. Виявлений негативний тренд числа морозних днів і деконтиненталізація клімату. Прогнозні оцінки зміни середньої приземної температури в Україні до 2050 року зводяться до того, що підвищення складе $1,5 \dots 2,0^{\circ}\text{C}$, причому в січні для півдня – $2,0^{\circ}\text{C}$, для півночі – $2,8^{\circ}\text{C}$ і в липні для України – $0,5 \dots 1,0^{\circ}\text{C}$ [30].

Недавній прогноз для потепління в Україні по ряду періодів до 2100 року наведено на рис. 3. Видно, що результати інструментальних вимірювань підвищення температури і прогнози потепління в Україні в цілому відповідають трендам зміни глобальної температури, і перед Україною стоять ті ж виклики і ризики, якими стурбований світ [31].

Рис. 3. Проєкції змін середніх місячних температур повітря в Україні з довірчими інтервалами по ансамблю з 10 РКМ (регіональні числові кліматичні моделі) щодо 1991–2010 рр. [31]. Позначення: ◆ – 2011–2030 рр. (середнє значення – $0,44^{\circ}\text{C}$), ■ – 2031–2050 рр. (середнє – $1,57^{\circ}\text{C}$), ▲ – 2051–2100 рр. (середнє – $3,15^{\circ}\text{C}$)

Але не всі фахівці з клімату поспішають оголошувати про прийдешні катастрофи. Уточнюється методологія, поглиблюється і розширюється теорія і практика досліджень, вдосконалюється інструментарій досліджень. Достовірні на перший погляд висновки беруться під сумнів. Здавалося б, можна достовірно визначити площу морських льодовиків в Арктиці – одного з ключових індикаторів клімату. Існують широко розвинена авіарозвідка, супутникові спостереження. Однак похибка при вимірюваннях і розрахунках досягає, наприклад, для Арктичного басейну 10% – в цілому близько 1 млн. км². Причина такої похибки – великі моря талої води шаром в 1...2 м в полярне літо на поверхні льоду. Талий шар води «екранує власне випромінювання льоду, в такій ситуації льодові спостереження в інфрачервоному діапазоні неможливі» [32].

Визначаються нові напрямки і об'єкти досліджень навколишнього середовища, що впливають на клімат внаслідок природної емісії парникових газів. У 2010 р. виконані унікальні дослідження в Арктиці з вивчення причин і механізмів виникнення «метанового максимуму» в атмосфері Північної півкулі. Виявлені чинники і встановлені закономірності надходження в атмосферу величезних кількостей метану на мілководних акваторіях арктичних морів, дають підстави вважати метановий фактор одним з основних при розгляді причин глобальних змін клімату на Землі, а також пояснюють природу раніше встановлених аномалій [33].

У порівнянні з матеріалами щодо антропогенної концепції зміни клімату які широко публікуються, менш доступні (і менш помітні) для громадськості публікації в спеціальних журналах про результати досліджень іншого чинника впливу на клімат – сонячно-земної взаємодії. Природному впливу на глобальне потепління саме такого фактора фахівці з фізики атмосфери і океану, геомагнетизму і аеронмії відводять вирішальну роль.

Зараз основним трендом досліджень природи і характеру динаміки глобального потепління стають міждисциплінарні дослідження на стику, здавалося б, досить далеких дисциплін. Так, наприклад, виконавцями програми «Глобальні та регіональні зміни клімату та природного середовища пізнього кайнозою Сибіру» були десять інститутів Сибірського відділення РАН– Археології та етнографії, геології та мінералогії ім. В.С. Соболева, Нафтогазової геології і геофізики ім. А.А. Трофимука, Геохімії ім. А.П. Виноградова, Лісу ім. В.Н. Сукачова, Лімнологічного, Ядерної фізики ім. Г.І. Будкера, Обчислювального моделювання, Земної кори, Мерзлотоведення ім. П.І. Мельникова.

Проведені дослідження підтверджують спільність ходу і єдиний механізм кліматичних змін як в середніх широтах Північної Азії, так і всієї планети. Ці результати переконливо свідчать, що сучасне потепління має природний характер, його рівень поки не перевищив порогу природних змін клімату, що відбувалися протягом навіть останніх 1000 років, а тим більше четвертинного періоду [34].

В [19] проведено порівняльний аналіз отриманих результатів і висновків обговорюваних концепцій. *«Як прихильників, так і противників антропогенного потепління не можна звинуватити в некоректному трактуванні наявних даних. ... Тому для вибору між концепціями необхідно залучити додатковий набір даних (палеокліматичних реконструкцій)».*

Для реконструкції був обраний період 500-1900 рр., в якому потенційний антропогенний вплив на клімат – зневажливо малий. Проведений аналіз динаміки глобальної температури показав, що на зазначеному вище часовому інтервалі «не спостерігалось циклічних процесів такого поєднання і періодичності і амплітуди, яке могло б призвести до потепління, яке спостерігається в ХХ столітті, а значить, його не можна пояснити без причини антропогенного чинника». *«... Однак і ігнорувати природну циклічність не варто, оскільки вона визначає ряд специфічних рис сучасної кліматичної динаміки, або знижуючи, або збільшуючи темпи зміни температури»* [19].

З урахуванням спрямованої антропогенної і циклічних природних компонент був виконаний прогноз динаміки глобальної температури в ХХІ столітті. Були використані прогнозні оцінки емісії вуглецю і змін атмосферної концентрації CO₂ в залежності від майбутньої динаміки антропогенних емісій, яка в свою чергу визначається багатьма факторами: технологічним прогресом та інноваціями в енергетиці, темпами розвитку світової економіки, результатами реалізації запланованих заходів, прийнятих на міжнародних кліматичних самітах, геополітичними турбулентностями і т. п. (див. посилання [12] в [19]).

В залежності від різних сценаріїв розвитку енергетики за прогнозними оцінками зростання температури в ХХІ столітті складе 2,2; 1,8; і 1,0 °С. Прогноз МГЕЗК для тих же умов – 3,6; 2,8 і 1,8 °С. Розбіжність в оцінках є суттєвою, тому що за багатьма пропозиціями, висловленими на останніх кліматичних самітах, і зокрема, на Паризькій нараді в 2015 р, небезпечна зміна потепління не повинна перевищувати 2 °С. Така межа в 2 °С за двома сценаріями (більш жорстким по динаміці викидів CO₂) за прогнозами МГЕЗК буде перевищена в

2050 році і за менш жорстким сценарієм – в 2060 році. Згідно [19] таке перевищення за двома сценаріями настане в 2070 році, а за останнім сценарієм – не матиме місце. Таким чином, є час для вирішення проблем пов'язаних, з антропогенної емісією парникових газів, хоча для першого сценарію (більш жорсткого) залишилося не так багато – близько 30-ти років.

Висновки. Глобальне потепління, ставши однією з найбільш гостро обговорюваних проблем сучасності, викликало дискусії серед фахівців з клімату щодо причин, що породжують глобальне потепління і наслідки такої зміни клімату. Є прихильники як антропогенного, так і природного впливу на клімат. І ті й інші відстоюють свої концепції, приводячи, з їх точки зору, переконливі аргументи. Але треба спиратися на «науковий метод в політиці: велике мистецтво – це не переконувати себе в тому, що ми не зробили жодної помилки, ігнорувати їх, приховувати і звинувачувати інших людей, а взяти на себе відповідальність за помилки, вчитися на них і застосовувати цей досвід так, щоб уникнути помилок в майбутньому [35]. Треба дотримуватися і такого принципу, як «Скільки б сил не було витрачено на вашу теорію, не можна ігнорувати дані, що суперечать їй» або «Слід звертати більше уваги на пошук даних, що суперечать вашій теорії, ніж доказів, що підтверджують її» [36].

Безсумнівно, є протистояння точок зору прихильників антропогенної і природної концепції глобального потепління. Вчені мають свої гіпотези, ведуть дискусії, до проблеми підключається широка громадськість. Форми протесту збагачують навіть словниковий запас. У 2019 році з'явилося «слово року»: кліматичний страйк (Climate strike). Протести – це теж трибуна громадської експертизи. Але головне при вирішенні соціально значущих проблем – дотримуватися принципу: від громадянської сміливості і гучного патетики – до наукової доказовості там, де можуть домінувати емоційні перегини. Тільки так можна зняти небезпеку руйнівних моментів, які можуть проявлятися при масовому залученні людей в громадські рухи.

Незважаючи на існуючу серед фахівців неоднозначність висновків про природу глобального потепління і оцінок значущості ролей антропогенного і природного факторів в зміні клімату, ступеня небезпеки таких змін, відсутність в міжнародному співтоваристві узгодженої позиції щодо прийняття та виконання рішень, визначених кліматичними самітами, (зокрема, Паризьких угод), довгострокова енергетична політика України повинна бути спрямована на підвищення енергоефективності використання енергоресурсів з необхідними заходами з охорони навколишнього середовища на всіх

етапах паливного циклу; від видобутку енергоресурсів до споживання енергії. Можна підтримати твердження: «Навіть якщо глобального потепління не було, з точки зору провідних країн світу його слід було б вигадати, оскільки для його запобігання вживаються заходи які сприяють розробці нових енергетичних технологій, заснованих на поновлюваних джерелах енергії» [37].

Автори висловлюють подяку доктору географічних наук Бойченко С.Г. за корисні дискусії при написанні цієї статті.

Фрагментарно дана стаття написана в рамках виконання: цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з розробки наукових основ раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та сталого розвитку і цільової програми наукових досліджень НАН України «Інтелектуальна екологічно безпечна енергетика з традиційними та відновлюваними джерелами енергії».

ЛІТЕРАТУРА

1. *Мировая энергетика будущего – время действовать.* Документы МИРЭС 2000. Мировой энергетический Совет. Справочный перевод. 2000. 175 с.
2. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4).* Інтернет-ресурс: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml.
3. *Флавін К.* та ін. Стан світу 2002. Пер. з англійської: ВГО «Україна. Порядок денний на XXI століття та інститут сталого розвитку». - Київ, Інтелсфера. 2002. 289 с.
4. *Терешин А.Г., Клименко А.В., Клименко В.В.* Золотой век газа и его влияние на мировую энергетику, глобальный цикл углерода и климат. Теплоэнергетика. 2015. №5. С. 3-13.
5. *Демерчян К.К., Демерчян К.С., Кондратьев К.Я.* Темп роста концентрации CO₂ и уточнение его прогнозных оценок. Известия РАН. Энергетика. 2001. №1. С. 3-35.
6. *Елисеєв А.В.* Глобальный цикл CO₂ // Eliseev_A_V_theses_26042017. Pdf
7. *Клименко В.В., Терешин А.Г.* Мировая энергетика и глобальный климат в XXI веке в контексте исторических тенденций: Пределы роста. Универсальна и глобальная история. Эволюция Вселенной, Земли, жизни, общества. Под ред. Л.Е. Гринина, И.В. Ильина, А.В. Коротаева. Волгоград: Учитель, 2012. – С. 608-621. - 688 с.
8. *Інтернет-ресурс:* <https://www.segodnya.ua/world/wnews/temperatura-na-planete-podnyalas-na-1-1-0s-v-onbyut-trevogu-1335122.html>

9. Аржанов М.М. и др. Оценка климатических изменений в Северном полушарии в XXI веке при альтернативных сценариях антропогенного воздействия. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 6. С. 643- 654.
10. Демерчян К.С., Демерчян К.К., Данилевич Я.Б., Кондратьев К.Я. Глобальное потепление, энергетика и геополитика. Известия РАН. Энергетика. 2002. №3. С. 18-46.
11. Демерчян К.С., Кондратьев К.Я. Научная обоснованность прогнозов влияния энергетики на климат. Известия РАН. Энергетика. 1999. №6. С. 3-46.
12. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. Энергетика и климат на рубеже веков: прогнозы и реальность. Теплоэнергетика. 2001. №10. С. 61-66.
13. Базеев Е.Т. Киотский протокол: препятствия на пути реализации (к вопросу неоднозначности прогнозных оценок изменения концентрации парниковых газов в атмосфере Земли и повышения приземной температуры. Обзор). Труды международного энергоэкологического конгресса «Энергетика. Экология. Человек». 27-28 марта 2003 года. Киев. 2003. С. 67-71.
14. Базеев Е.Т., Диденко В.М. Парниковый эффект и теплоэнергетика Украины. Політичні, економічні та екологічні проблеми енергетичної безпеки і транспортування енергоресурсів в Україні. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції. 24-26 жовтня 2000 р., м. Київ. РВПС НАН України, 2001. 268 с.
15. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики. Успехи физических наук. 2000. Т. 170, № 4. С. 419-445.
16. Иванов В., Богуславський С., Совга О., Жоров В. Світовий океан як стабілізатор клімату Землі. Вісник НАН України. 2004. №3. С.32-37.
17. Лосев К.С. Парадоксы борьбы с глобальным потеплением. Вестник РАН. 2009. Т. 79, №1. С 36-40.
18. Большаков В.А., Капица А.П. Уроки развития орбитальной теории климата. Вестник РАН. 2011. Т. 81, № 7. С. 603-612.
19. Замолотчиков Д.Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления. Вестник РАН. 2013. Т. 83, №3. С. 227-235.
20. Корабльєв О.И. Марс и Венера: разные судьбы планет земной группы. Вестник РАН. 2016. Т. 86, № 7. С 587-599.
21. Сорохтин О.Г. Эволюция климата Земли и происхождение ледовых эпох. Вестник РАН. 2006. Т. 76. №8. С. 699-706.
22. Шестопалов В.М., Лукин А.Е., Згонник В.А., Макаренко А.Н., Ларин Н.В., Богуславский В.М. Очерки дегазации Земли. Київ, 2018. 632 с.
23. Николаев А.В. Проблемы геотомографии. Москва, 1997. С. 4-38.
24. Усенко О.В. Формирование расплавов. Геодинамический процесс и физико-химические взаимодействия. Київ, 2014. 237 с.
25. Авакян С.В. Супрамолекулярная физика окружающей среды: климатические и биофизические эффекты. Вестник РАН. 2017. Т. 87, № 5. С. 456-466.
26. Барцев С.И., Белолитецкий П.В., Дегерменджи А.Г. и др. Новый взгляд на динамику климата Земли. Вестник РАН. 2016. Т. 86, № 3. С. 244-251.
27. Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). Київ, 2014. 168 с.
28. Вовк В.В., Егорова Л.В., Трошичев О.А. Связь атмосферных характеристик в Антарктиде с факторами космической погоды. Геомагнетизм и аэрономия 2008. Т. 48, №4. С 561-565.
29. Волощук В., Скрипник М. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України. Вісник НАН України. 1993. №9. С. 43-46.
30. Ліпінський В.М. Глобальна зміна клімату та її відгук в динаміці клімату України. Матеріали міжнародної конференції «Інвестиції та зміна клімату: можливості для України, 10–12 липня 2002 р. – К.: Інвестиції з питань зміни клімату. 2002. С. 177-185.
31. Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України. Сентендре, Угорщина. Regional environmental center. Жовтень 2015. 73 с.
32. Матишев Г.Г., Дженюк С.Л., Моисеев Д.В. Климат и большие экосистемы Арктики Вестник РАН. 2017. Т. 87, №2. С. 110-120.
33. Сергиенко В.И. Выступление на общем собрании РАН (стенограмма). Вестник РАН. 2011. Т.81, № 10. С. 893.
34. Фомин В.М., Молодин В.И., Ерминов В.Д. Междисциплинарные исследования – главный тренд развития науки в России. Вестник РАН. 2015. Т. 85, №11. С. 993-1004.
35. Понтер К. Нищета историцизма. Вопросы философии. 1992. №9. С. 22-48.
36. Харре Р. Социальная эпистемология: передача знаний посредством речи. Вопросы философии. 1992. №9. С. 49–60.
37. Миронов Н. Меры и вызовы глобальной энергетической безопасности. Мировая энергетика. 2007. №4. С. 50-51.

GLOBAL WARMING – PHYSICS AND GEOPOLITICS (Review).

1. Anthropogenic and natural concepts of climate change

Basok B.I.¹, Baseyev Ye.T.¹, Kurayeva I.V.²

¹The Institute of Engineering Thermophysics, 2, Bulakhovskogo, Kyiv, 03164, Ukraine, basok@ittf.kiev.ua

²M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, 34, Prosp. Academician Palladin, Kyiv, 03142, office. igmr@gmail.com

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.5>

Introduction. Global warming and so-called the “greenhouse effect” is one of the most discussed problems of physics and geopolitics, which has caused protest environmental movements in the world.

Problem Statement. Widely discussed are both anthropogenic (the emission of greenhouse gases into the atmosphere) and the natural concepts of global warming with the dramatic effects of climate change on the planet and individual regions.

Purpose. Evaluate the state of the problem, to present the results of research and measures to possible reduction of the greenhouse effect.

Materials and methods. Authoritative literature sources with the analysis of anthropogenic and natural factors of global warming are used, including with the explanation of the physical processes which are shown at solar-geomagnetic activity and other natural phenomena.

Results. The main causes and mechanisms of natural and man-made nature for the actual growth of greenhouse gas emissions and global temperature in the 20th century are identified and their estimates for the period up to 2100 are given.

Conclusions. Most likely, the effect of global warming on the planet's climate is totally due to natural causes of cosmogenic origin and somewhat exacerbated by the effects of industrial development of mankind. For the final solution of this problem it is necessary to fully and adequately conduct more in-depth complex experimental and theoretical-model studies taking into account various factors of geological, climatic, meteorological, thermophysical, astrophysical nature and application of modern methods of mathematical physics, statistics and probability theory. reasonable measures to adapt the economy and life to climate change.

References 37, table 1, figures 3.

Keywords: climate change, global warming, greenhouse gases, anthropogenic and natural concepts.

1. *World energy of the future - time to act.* Documents WEC 2000. World Energy Council. Reference translation. (2000) [in Russian].

2. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)* URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml

3. *Flavin K. et al. (2002). State of the World 2002.* Translated from English: VGO «Ukraine. The Agenda for the 21st Century and the Institute for Sustainable Development». Kyiv, Intelsfera [in Ukrainian].

4. *Tereshin A.G., Klimenko A.V., Klimenko V.V. (2015). The golden age of gas and its impact on global energy, the global carbon cycle and climate.* Thermal Engineering., №5, 3-13 [in Russian].

5. *Demerchyan K.K., Demerchyan K.S., Kondratiev K.Ya. (2001). The growth rate of CO₂ concentration and the refinement of its forecast estimates.* News of the Russian Academy of Sciences. Energy., №1, 3-35 [in Russian].

6. *Eliseev A.V. Global CO₂ cycle.* Eliseev_A_V_theses_26042017. Pdf [in Russian].

7. *Klimenko V.V., Tereshin A.G. (2012). World energy and the global climate in the 21st century in the context of historical trends: The limits of growth. Universal and global history. The evolution of the universe, earth, life, society.* Ed. L.E. Grinin, I.V. Ilyin, A.V. Korotaev. Volgograd: Teacher, 608-621 [in Russian].

8. *Internet resource* URL: <https://www.segodnya.ua/world/wnews/temperatura-na-planete-podnyalas-na-1-1-0s-v-oon-byut-trevogu-1335122.html>

9. *Arzhanov M.M. et al. (2012). Climate change assessment in the Northern Hemisphere in the 21st century under alternative scenarios of anthropogenic impact.* News of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and the ocean. V. 48. № 6, 643- 654 [in Russian].

10. *Demerchyan K.S., Demerchyan K.K., Danilevich Ya.B., Kondratiev K.Ya. (2002). Global warming, energy and geopolitics.* News of the Russian Academy of Sciences. Energy., №3, 18-46 [in Russian].

11. *Demerchyan K.S., Kondratiev K.Ya. (1999). The scientific validity of forecasts of the impact of energy on climate.* News of the Russian Academy of Sciences. Energy., №6, 3-46 [in Russian].

12. *Klimenko V.V., Klimenko A.V., Tereshin A.G. (2001). Energy and climate at the turn of the century: forecasts and reality.* Thermal Engineering., №10, 61-66 [in Russian].

13. *Baseyev E.T.* (2003). Kyoto Protocol: obstacles to implementation (to the question of the ambiguity of forecast estimates of changes in the concentration of greenhouse gases in the Earth's atmosphere and an increase in surface temperature. Overview). Proceedings of the International Energy-Ecological Congress "Energy. Ecology. Human". March 27-28, 2003. Kiev, 67-71 [in Russian].
14. *Baseyev E.T., Didenko V.M.* (2001). Greenhouse effect and heat power of Ukraine. Political, economic and environmental problems of energy security and transportation of energy resources in Ukraine. Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference. October 24-26, 2000, Kyiv. RVPS of NAS of Ukraine [in Russian].
15. *Monin A.S., Shishkov Yu.A.* (2000). Climate as a problem of physics. Advances in physical sciences. V. 170, № 4, 419-445 [in Russian].
16. *Ivanov V., Boguslavsky S., Sovga O., Zhorov V.* (2004). World Ocean as a stabilizer of the Earth's climate. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. №3, 32-37 [in Ukrainian].
17. *Losev K.S.* (2009). Paradoxes of the fight against global warming. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 79, №1, 36-40 [in Russian].
18. *Bolshakov V.A., Kapitsa A.P.* (2011). Lessons from the development of the orbital theory of climate. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 81, № 7, 603-612 [in Russian].
19. *Zamolodchikov D.G.* (2013). Natural and anthropogenic concepts of modern warming. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 83, №3, 227-235 [in Russian].
20. *Korablev O.I.* (2016). Mars and Venus: different fates of the planets of the earth group. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 86, № 7, 587-599 [in Russian].
21. *Sorokhtin O.G.* (2006). The evolution of the Earth's climate and the origin of the ice eras. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 76, №8, 699-706 [in Russian].
22. *Shestopalov V.M., Lukin A.E., Zgonnik V.A., Makarenko A.N., Larin N.V., Boguslavsky V.M.* (2018). Essays on the degassing of the Earth. Kyiv [in Russian].
23. *Nikolaev A.V.* (1997). Problems of geotomography. Moscow, 4-38. [in Russian].
24. *Usenko O.V.* (2014). The formation of melts. Geodynamic process and physicochemical interactions. Kyiv, [in Russian].
25. *Avakyan S.V.* (2017). Supramolecular environmental physics: climatic and biophysical effects. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 87, № 5. 456-466 [in Russian].
26. *Bartsev S.I., Belolipetskiy P.V., Degermendzhi A.G.* et al. (2016). A new look at the dynamics of the Earth's climate. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 86, № 3, 244-251 [in Russian].
27. *Karmazinenko S.P., Kuraeva I.V., Samchuk A.I., Voityuk Yu.Yu., Manicheva V.I.* (2014). Heavy metals in environmental components. Mariupol (ecological and geochemical aspects). Kyiv [in Ukrainian].
28. *Vovk V.V., Egorova L.V., Troshichev O.A.* (2008). The relationship of atmospheric characteristics in Antarctica with space weather factors. Geomagnetism and Aeronomy. V. 48, №4, 561-565 [in Russian].
29. *Voloschuk V., Sripnik M.* (1993). Global greenhouse effect and climatic conditions of Ukraine. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. №9, 43-46 [in Ukrainian].
30. *Lipinskiy V.M.* (2002). Global climate change and its response in the dynamics of Ukraine's climate. Proceedings of the International Conference "Investment and Climate Change: Opportunities for Ukraine, July 10-12, 2002, Kyiv: Climate Change Investments, 177-185 [in Ukrainian].
31. *Increasing the climate resilience of the agricultural sector of the South of Ukraine.* Szentendre, Hungary. Regional environmental center. October 2015 [in Ukrainian].
32. *Matishev G.G., Dzhenyuk S.L., Moiseev D.V.* (2017). Climate and large ecosystems of the Arctic. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 87, №2. 110-120 [in Russian].
33. *Sergienko V.I.* (2011). Speech at the general meeting of the RAS (transcript). Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 81, № 10, 893 [in Russian].
34. *Fomin V.M., Molodin V.I., Erminov V.D.* (2015). Interdisciplinary research is the main trend in the development of science in Russia. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. V. 85, №11, 993-1004 [in Russian].
35. *Popper K.* (1992). The Poverty of Historicism. Problems of Philosophy. №9, 22-48 [in Russian].
36. *Harre R.* (1992). Social epistemology: knowledge transfer through speech. Problems of Philosophy. №9, 49-60 [in Russian].
37. *Mironov N.* (2007). Measures and challenges of global energy security. World energy. №4, 50-51.

Отримано 07.02.2021
Received 07.02.2021