

CO₂-Ի ԿԼԱՆՈՒՄԸ ԴԻԱՄԻՆՆԵՐԻ ԵՎ ԱԼԿԱՆՈԼ ԱՄԻՆՆԵՐԻ ՄԻՋՈՅՈՎ

ԱՆԱՀԻՏ ՍԱՔԵՅԱՆ

ՀՀ ԳԱԱ Օրգանական և դեղագործական քիմիայի Ա. Լ. Մնջոյանի անվան
Նուրբ օրգանական քիմիայի ինստիտուտի հոգեմետ միացությունների սինթեզի
լաբորատորիայի, «Իոնական հեղուկների մշակումը և կիրառությունները
քիմիայում» խմբի
կրտսեր գիտաշխատող
anahit.saqeyan.98@mail.ru

ԷԼՅԱ ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ՀՀ ԳԱԱ Օրգանական և դեղագործական քիմիայի Ա. Լ. Մնջոյանի անվան
Նուրբ օրգանական քիմիայի ինստիտուտի հոգեմետ միացությունների սինթեզի
լաբորատորիայի, «Իոնական հեղուկների մշակումը և կիրառությունները
քիմիայում» խմբի
կրտսեր գիտաշխատող
elya.safaryan.1996@mail.ru

ԱՐՓԻՆԵ ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՀՀ ԳԱԱ Օրգանական և դեղագործական քիմիայի Ա. Լ. Մնջոյանի անվան
Նուրբ օրգանական քիմիայի ինստիտուտի
հոգեմետ միացությունների սինթեզի լաբորատորիայի ավագ գիտաշխատող,
«Իոնական հեղուկների մշակումը և կիրառությունները քիմիայում»
խմբի ղեկավար,
ՀՀ ԳԱԱ գիտակրթական միջազգային կենտրոնի դեղագործական
քիմիայի ամբիոնի վարիչ ժ/պ,
քիմիական գիտությունների թեկնածու
arpine.harutyunyan@isec.am

DOI: 10.54503/978-9939-1-2075-1-379

Համառոտագիր

Ածխի, նավթի և գազի արդյունահանումը տարեկան միլիարդավոր տոննա ածխաթթու գազ (CO₂) է արտանետում մթնոլորտ: Ածխաթթու գազի ազդեցությունը մթնոլորտի վրա կարևոր դեր է խաղում՝ կլիմայի փոփոխության և գլոբալ տաքացման համատեքստում: Ջերմոցային էֆեկտի պատճառով Երկիր մոլորակը կանգնած է կործանման եզրին: Ջերմոցային էֆեկտը այն գործընթացն է, որով Երկրի մակերևույթի ջերմաստիճանը բարձրանում է ջերմոցային գազերի պատճառով: 1850 թվականից, այսինքն՝ արդյունաբերական դարաշրջանի սկզբից ի վեր, ածխաթթու գազի ամենամեծ քանակությունը արտանետել են մի քանի երկիր երկրներ, որոնցից միշտ առաջատար է եղել ԱՄՆ-ը, որին հաջորդում է Ռուսաստանը, իսկ հետո՝ Չինաստանը: Հայաստանի Հանրապետության 2019 թ. ջերմոցային գազերի ազգային կադաստրում գերակշռում են ածխածնի երկօքսիդի արտանետումները, որի մասնաբաժինը ընդհանուր արտանետումներում կազմել է 55.7%: 2019 թվականին գրանցվել է +1.5°C շեղում 1961-1990 թվականների միջին տարեկան

ջերմաստիճանից: Այդ պատճառով, չնայած մարդածին ջերմոցային գազերի գլոբալ արտանետումներում Հայաստանի աննշան մասնաբաժին՝ 0.02%, երկիրն ակտիվորեն մասնակցում է կլիմայի փոփոխության դեմ պայքարի միջազգային գործընթացներին: Իրականում ստեղծված իրավիճակը CO_2 -ի ավելի քան 150 տարվա կուտակման արդյունք է: Ըստ 2021թ.տվյալների՝ մարդկությունը մթնոլորտ է արտանետել առնվազն 2500 միլիարդ տոննա CO_2 : Այս աստղաբաշխական քանակությունը, ըստ երևույթին, ներկայիս ջերմաստիճանի բարձրացման հիմնական պատճառն է: Գլոբալ տաքացումն իր հերթին հանգեցնում է երկրի մթնոլորտի և Համաշխարհային օվկիանոսի մակերեսային շերտի միջին տարեկան ջերմաստիճանի աստիճանական բարձրացմանը, արևային և հրաբխային ակտիվության բարձրացմանը և այլն: Հետևաբար, CO_2 -ի քանակի նվազեցումը մթնոլորտից համարվում է առաջնային խնդիր ամբողջ մարդկության համար:

Մթնոլորտում CO_2 -ի բարձրացումը կարևոր մարտահրավեր է, որն ունի լայնամասշտաբ ազդեցություն շրջակա միջավայրի և հասարակության վրա: Նման խնդիրներից խուսափելու համար պետք է նվազեցնել ածխաթթու գազի քանակը մթնոլորտում: Ածխածնի երկօքսիդի արտանետումների և ածխածնի անոմալ տեղաշարժերի կրճատումը, ինչպես նաև օդում CO_2 -ի հավասարակշռության պահպանումը քիմիական գործընթացների միջոցով խոստումնալից են: CO_2 -ի կլանումը և դրա հետագա ֆիքսումը ամիններով (դիամիններ և ալկանոլամիններ), ինչը բերում է կարբամատների առաջացմանը, մինչ այժմ լայնորեն կիրառվող հիմնական հաջողված փորձերից է:

Այս հետազոտական աշխատանքի նպատակն է եղել կլանել CO_2 -ի ավելորդ քանակությունը օդից հնարավորինս մեղմ պայմաններում: CO_2 -ի կլանումը իրականացվել է սենյակային ջերմաստիճանում և նորմալ ճնշման պայմաններում՝ դիամիններով և ալկանոլ ամիններով: Ուսումնասիրվել է CO_2 -ի կլանումը էթիլենդիամինի, 1,2-պրոպիլենդիամինի, 1,4-բութիլենդիամինի, պիպերազինի, մեթիլպիպերազինի և էթիլպիպերազինի կողմից, իսկ ալկանոլ ամիններից՝ 3-ամինո-1-պրոպանոլի, 2-ամինոբութան-1-ոլի, 2-(էթիլամինո) էթանոլի, դիէթանոլամինի, 1,1'-իմինոդիպրոպան-2-ոլի, 2-ամինո-2-(հիդրօքսիմեթիլ) պրոպան-1,3-դիոլի կողմից: Ամինների ընտրությունը պայմանավորված է նրանց մատչելիությամբ, կայունությամբ, քիչ ծախսատարությամբ, բարձր կլանողականությամբ և հետագա կիրառելիության լայն սպեկտրով: Լավագույն կլանում ցուցաբերել են 3-ամինո-1-պրոպանոլը՝ 90%, էթիլենդիամինը՝ 89%, պիպերազինը՝ 78% և 2-ամինոբութան-1-ոլը՝ 70%: Արդյունքները հաստատվել են ՄՄՌ, ԻԿ սպեկտրոսկոպիայի և մասս-սպեկտոմետրիայի միջոցով:

Փորձ է արվել մեծացնելու ամինների կլանումը անօրգանական (KOH) հիմքերի միջոցով, ինչպես նաև մշակվել և ուսումնասիրվել են CO_2 -ի կլանման ավելի մեղմ պայմաններ՝ ուսումնասիրելով մթության պայմաններում և արևի ուղիղ ճառագայթների ազդեցությամբ, 15 և 30°C ջերմաստիճաններում:

Բանալի բառեր և բառակապակցություններ՝ ածխաթթու գազ, դիամին, ալկահոլ ամին, ջերմոցային էֆեկտ:

CO₂ ABSORPTION BY DIAMINES AND ALKANOLAMINES

ANAHIT SAKEYAN

National Academy of Sciences of the Republic of Armenia
Institute of Fine Organic Chemistry after A.L. Mnjoyan
Scientific and Technological Center of Organic and Pharmaceutical Chemistry
Laboratory of Synthesis of Psychotropic Compounds
“Development and Application of Ionic Liquids in Chemistry” Group
Junior Researcher
anahit.saqeyan.98@mail.ru

ELYASAFARYAN

Junior Researcher,
National Academy of Sciences of the Republic of Armenia
Institute of Fine Organic Chemistry after A.L. Mnjoyan
Scientific and Technological Center of Organic and Pharmaceutical Chemistry
Laboratory of Synthesis of Psychotropic Compounds
“Development and Application of Ionic Liquids in Chemistry” Group
Junior Researcher
elya.safaryan.1996@mail.ru

ARPINE HARUTYUNYAN

National Academy of Sciences of the Republic of Armenia
Institute of Fine Organic Chemistry after A.L. Mnjoyan
Scientific and Technological Center of Organic and Pharmaceutical Chemistry
Laboratory of Synthesis of Psychotropic Compounds
Head of the ‘Development and Application of Ionic Liquids in Chemistry’ Group,
Senior researcher
International Scientific-Educational Center of the NAS RA,
Head of the Department of Pharmaceutical Chemistry, PhD in Chemical Sciences
arpine.harutyunyan@isec.am

Abstract

Coal, oil, and gas production emits billions of tons of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere every year. The effect of carbon dioxide on the atmosphere plays an essential role in the context of climate change and global warming. The planet Earth is on the verge of destruction due to the greenhouse effect. Rising CO₂ levels in the atmosphere pose a significant challenge with far-reaching impacts on the environment and society. The greenhouse effect is the process by which the temperature of the Earth’s surface increases due to greenhouse gases.

Since the beginning of the industrial era in 1850, the countries with the highest carbon dioxide emissions have been the United States, followed by Russia and China. In the 2019 national greenhouse gas inventory of the Republic of Armenia, carbon dioxide emissions were the most significant, accounting for 55.7% of total emissions. In 2019, a deviation of +1.5°C from the average annual temperature of 1961–1990 was recorded. Thus, despite Armenia’s relatively small share (0.02%) of global anthropogenic greenhouse gas emissions, the country actively participates in international efforts to combat climate change.

In fact, the current situation is the result of more than 150 years of CO₂ accumulation. According to 2021 data, humanity has emitted at least 2,500 billion tons of CO₂ into the atmosphere. This astronomical amount is likely a major contributor to the ongoing temperature increase. Global warming, in turn, leads to a gradual increase in the Earth's average annual atmospheric temperature and the surface layer of the world's oceans, as well as increased solar and volcanic activity, among other effects. Therefore, reducing CO₂ levels in the atmosphere is a priority for all of humanity.

To avoid such problems, it is essential to reduce the amount of carbon dioxide in the atmosphere. Optimal conditions — room temperature and pressure — have been developed to remove excess CO₂ using diamines and alkanolamines. Reducing carbon dioxide emissions and stabilising atmospheric CO₂ levels, while mitigating abnormal carbon shifts, is one of the promising sustainable approaches to CO₂ sequestration through chemical processes.

The capture of CO₂ and its subsequent fixation with amines, including diamines and alkanolamines, results in the formation of carbamates, a method widely used to date. However, the search for amines with the highest CO₂ absorption efficiency under mild experimental conditions is still ongoing.

These amines were selected due to their low cost, stability, high absorption capacity, and broad applicability. CO₂ absorption was studied using ethylenediamine, propylenediamine, butylenediamine, piperazine, methylpiperazine, and ethylpiperazine, as well as alkanolamines, including 3-amino-1-propanol, 2-aminobutan-1-ol, 2-(ethylamino)ethanol, diethanolamine, 1,1'-iminodipropyl-2-ol, and 2-amino-2-(hydroxymethyl)propan-1,3-diol. The best results were achieved with 3-amino-1-propanol (90%), ethylenediamine (89%), piperazine (78%), and 2-aminobutan-1-ol (70%). NMR, IR, and MASS spectroscopy confirmed the results.

An attempt was made to increase the CO₂ adsorption of amines using inorganic bases (KOH). Additionally, milder adsorption conditions were explored, investigating the effects of humidity and direct sunlight at temperatures of 15°C and 30°C.

Keywords and phrases: Carbon dioxide, diamine, alkanolamine, greenhouse effect.

АБСОРБЦИЯ CO₂ ДИАМИНАМИ И АЛКАНОЛИАМИНАМИ

АНАИТ САКЕЯН

Младший. научный сотрудник
Группы «Разработка и применение ионных жидкостей в химии»
Лаборатории синтеза психотропных соединений
Института тонкой органической химии им. А.Л.Мнджояна,
Научно-технологический центр органической
и фармацевтической химии (НТЦОФХ)
Национальной академии наук Республики Армения
anahit.saqeyan.98@mail.ru

ЭЛЬЯ САФАРЯН

Младший научный сотрудник
Группы «Разработка и применение ионных жидкостей в химии»
Лаборатории синтеза психотропных соединений
Института тонкой органической химии им. А.Л.Мнджояна,
Научно-технологический центр органической
и фармацевтической химии (НТЦОФХ)
Национальной академии наук Республики Армения
elya.safaryan.1996@mail.ru

АРПИНЕ АРУТЮНЯН

Ст. научный сотрудник лаборатории синтеза психотропных соединений
Руководитель группы «Разработка и применение ионных жидкостей в химии»
Института тонкой органической химии им. А.Л. Мнджояна,
Научно-технологический центр органической и фармацевтической химии
(НТЦОФХ)
Национальной академии наук Республики Армения
И.о. зав. кафедрой фармацевтической химии
Международного научно-образовательного центра
Национальной академии наук Республики Армения,
кандидат химических наук
arpine.harutyunyan@isec.am

Аннотация

Добыча угля, нефти и газа ежегодно выбрасывает в атмосферу миллиарды тонн углекислого газа (CO₂). Влияние углекислого газа на атмосферу играет важную роль в изменении климата и глобальном потеплении. Планета Земля находится на грани разрушения из-за парникового эффекта. Увеличение выбросов CO в атмосферу является серьезной проблемой, имеющей далеко идущие последствия для окружающей среды и общества.

Парниковый эффект — это процесс, при котором температура поверхности Земли повышается из-за парниковых газов. Начиная с 1850 года, то есть с начала индустриальной эпохи, наибольшие объемы выбросов углекислого газа приходились на следующие страны: лидером всегда были США, за ними следовала Россия, а затем Китай.

В Республике Армения, согласно национальному кадастру парниковых

газов за 2019 год, выбросы углекислого газа преобладали, составляя 55,7% от общего объема выбросов. В 2019 году зафиксировано отклонение +1,5°C от среднегодовой температуры 1961–1990 годов. Несмотря на то, что доля Армении в мировых антропогенных выбросах парниковых газов составляет всего 0,02%, страна активно участвует в международных процессах по борьбе с изменением климата.

Текущая ситуация является результатом более чем 150-летнего накопления CO₂. По данным на 2021 год, человечество выбросило в атмосферу не менее 2500 миллиардов тонн CO₂. Эта огромная величина, по-видимому, является основным фактором, способствующим повышению температуры. Глобальное потепление, в свою очередь, приводит к постепенному повышению среднегодовой температуры атмосферы Земли и поверхностного слоя Мирового океана, усилению солнечной и вулканической активности и другим климатическим изменениям.

Сокращение количества CO₂ в атмосфере является приоритетной задачей для всего человечества. Разработаны оптимальные условия — комнатная температура и атмосферное давление — для удаления избытка CO₂ из атмосферы с помощью диаминов и алканоламинов. Эти амины были выбраны из-за их доступности, стабильности, высокой абсорбционной способности и широкой применимости.

Было изучено поглощение CO₂ следующими соединениями: этилендиамин, пропилендиамин, бутилендиамин, пиперазин, метилпиперазин и этилпиперазин, а также алканоламинами — 3-амино-1-пропанол, 2-аминобутан-1-олом, 2-(этиламино)этанолом, диэтаноломином, 1,1'-иминодипропан-2-олом и 2-амино-2-(гидроксиметил)пропан — 1,3-диолам. Наилучшие результаты показали 3-амино-1-пропанол — 90%, этилендиамин — 89%, пиперазин — 78% и 2-аминобутан-1-ол — 70%. Результаты подтверждены методами ЯМР, ИК и масс-спектропии.

Была предпринята попытка увеличить адсорбцию аминов с использованием неорганических оснований (KOH). Также были разработаны и изучены более мягкие условия адсорбции CO₂, включая влияние влажности и прямого солнечного света при температурах 15 и 30°C.

Ключевые слова: диоксид углерода, диамин, алканоламин, парниковый эффект.

Ներածություն

Վերջին տասնամյակի ընթացում մթնոլորտում ջերմոցային գազերի քանակը կրկին հասել է նոր ռեկորդային մակարդակի, իսկ աճի միտումը շարունակվում է: Այդ մասին ամեն տարի զեկուցվում է Համաշխարհային օդերևութաբանական կազմակերպություն (World Meteorological Organization) զեկույցներում [1]: 1850 թվականից ի վեր Ամերիկայի Միացյալ Նահանգներին բաժին է ընկնում ընդհանուր արտանետումների 20%-ը կամ 509 միլիարդ տոննա CO₂: Չինաստանին բաժին է ընկնում արտանետումների 11%-ը, որին հաջորդում են Ռուսաստանը (7%), Բրազիլիան (5%) և Ինդոնեզիան (4%) [2]: Ածխածնի երկօքսիդի (CO₂) միջին գլոբալ կոնցենտրացիաները՝ ջերմոցային գազը, 2022 թվականին առաջին անգամ գերազանցել են մինչինդուստրիալ

դարաշրջանի մակարդակները 50%-ով: Միևնույն ժամանակ, 2025 թվականին այն շարունակվում է աճել [3]:

Համաձայն Կլիմայի փոփոխությունների ամենամյա հետազոտություններից ստացվող տվյալների [4]՝ առաջիկա 30 տարվա ընթացքում աշխարհի քաղաքների 77%-ում կլիմայական սաստիկ փոփոխություններ են սպասվում: Ավելին, քաղաքների 22%-ը կլիմայական այնպիսի պայմաններում, ինչպիսիք ներկայումս գոյություն չունեն: Որպեսզի խուսափենք նման աղետներից, պետք է մթնոլորտից հեռացնել ածխաթթու գազի ավելորդ քանակը:

Մթնոլորտից ածխաթթու գազի հեռացման վեց հիմնական եղանակ կա.

- Անտառվերականգնում և անտառապատում
- Հողի ածխածին (Carbon soils) [5]
- Կենսազանգվածի օգտագործում
- Օդից ածխաթթու գազի ուղղակի որսում
- Ածխաթթու գազի հանքայնացում
- Օվկիանոսների օգտագործում

Ածխաթթու գազի մակարդակը մթնոլորտում առավել արդյունավետ նվազեցնելու նպատակով այս մեթոդները կարող են համակցվել, բայց դրանց մասշտաբային կիրառումը դեռ պահանջում է զարգացում, բարելավում և մեծ ներդրումներ:

Հաշվի առնելով գրական տվյալները, մենք օգտագործել ենք «օդից ածխաթթու գազի ուղղակի որսում» եղանակը, որպես որսող ագենտ օգտագործելով ամինները: Ամինների միջոցով ածխաթթու գազի կլանումը նոր և զարգացող ուղղություն է համարվում [6, 7]: Ալկանոլամինները և դիամինները դասվում են կայուն և քիչ ծախսատար, մատչելի, էներգոէֆեկտիվ, չկորոզվող լուծիչների շարքին: CO₂-ի կլանման այլընտրանքային և արդյունավետ եղանակ է համարվում ալկանոլ ամինների մշակումը ջրով, օրգանական և անօրգանական հիմքով [8]:

Գրականության մեջ կան տվյալներ ալկանոլամիններով և դիամիններով [9-16] ածխաթթու գազի կլանման վերաբերյալ՝ 40-80°C ջերմաստիճանի և 15-5000kPa ճնշման պայմաններում:

Մենք խորացված ուսումնասիրել ենք որոշ ալկանոլամիններով և դիամիններով կլանողականությունը, ինչպես անօրգանական, այնպես էլ օրգանական հիմքերով:

Մշակվել և ուսումնասիրվել են CO₂-ի կլանման ավելի մեղմ պայմաններ՝ ուսումնասիրելով մթության մեջ կամ արևի ուղիղ ճառագայթների ազդեցությամբ 15 և 30°C ջերմաստիճաններում [17]:

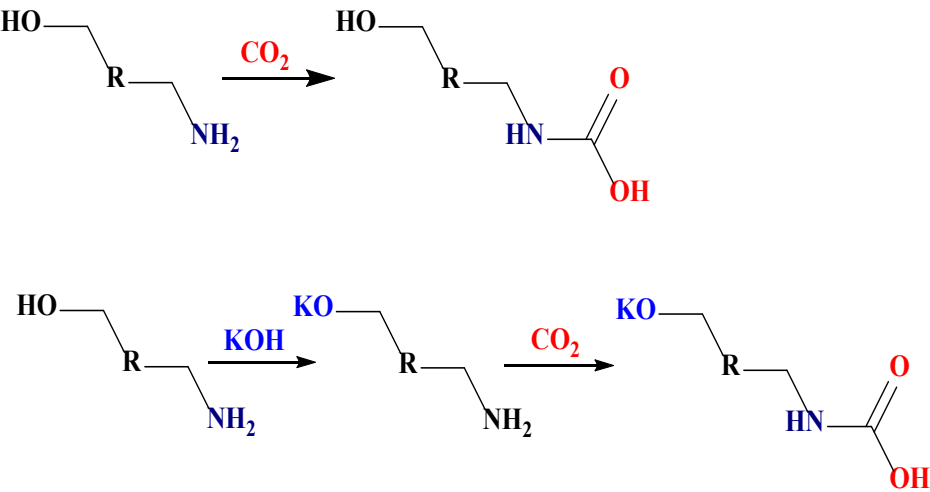
Հողվածի հիմնական բովանդակությունը

Այս ուսումնասիրության մեջ օգտագործվել են քիմիապես մաքուր միացություններ, որոնք գնվել են «Termo Scientific», «Alfa Aesar» ընկերություններից կամ սինթեզվել են հայտնի գրականության մեթոդներով: Զիմիական նյութերի ցանկը ներկայացված է աղյուսակ 1-ում:

Հոդվածում օգտագործված ամինների քիմիական անվանումը և կառուցվածքը

Ամիններ	Քիմիական կառուցվածքը
	Ալկանոլ ամիններ
3-ամին-1-պրոպանոլ	
2-ամինոբութան-1-ոլ	
2-(էթիլամին)էթանոլ	
Դիէթանոլամին	
1,1'-իմինոդիպրոպան-2-ոլ	
2-ամին-2-(հիդրօքսիմեթիլ)պրոպան-1,3-դիոլ	
	Դիամիններ
Էթիլդիամին	
1,4-դիամինո բութան	
Պիպերազին	
Մեթիլպիպերազին	
Էթիլպիպերազին	
1,2-դիամինոպրոպան	

Ականոլամիններից CO₂-ի կլանման համար օգտագործվել են մաքուր 3-ամինո-1-պրոպանոլ, 2-ամինոբութան-1-ոլ, 2-(էթիլամինո) էթանոլ, դիէթանոլամին, ինչպես նաև նշված միացությունների և 1,1'-իմինոդիպրոպան-2-ոլի KOH-ի ջրային լուծույթները՝ 2:1:1 (Ամին/KOH/H₂O) հարաբերությամբ:



Սխեմա 1. Ուղիղ շղթայով ականոլամիններից կարբամատների ստացման ենթադրյալ ռեակցիաները:

Ստացված լուծույթները կլանել են չոր սառույցից առաջացած մաքուր CO₂-ը (մի քանի կլանման արդյունքները ցույց են տրված աղյուսակ 1-ում):

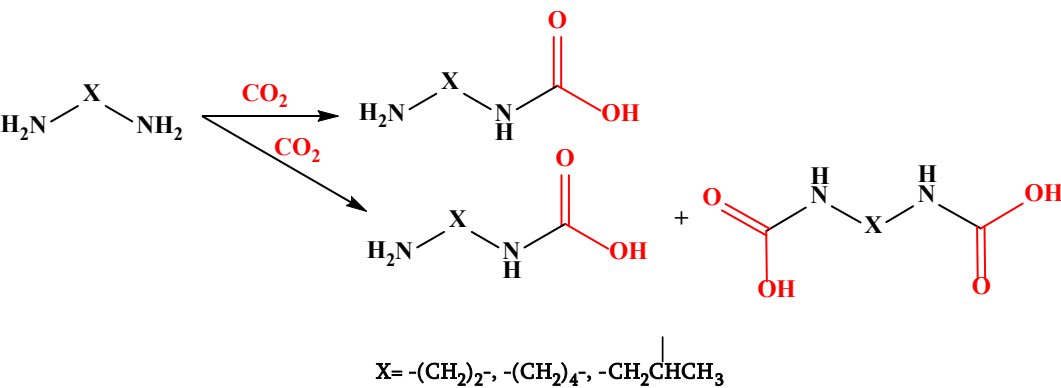
Աղյուսակ 2

Ականոլամինների KOH-ի ջրային լուծույթներում CO₂ կլանելու տվյալները (%) ըստ ՄՄՌ-սպեկտրոսկոպիայի տվյալների

Ամին/KOH/H ₂ O	I	II	III	IV	V	VI
3-ամինո-1-պրոպանոլ	30	40	40	42	65	90
2-ամինոբութան-1-ոլ	60	70	60	60	70	72
2-(էթիլամինո)էթանոլ	41	34	40	43	55	36
դիէթանոլամին	44	39	39	40	43	40
1,1'-իմինոդիպրոպան-2-ոլ	25	25	34	34	36	36

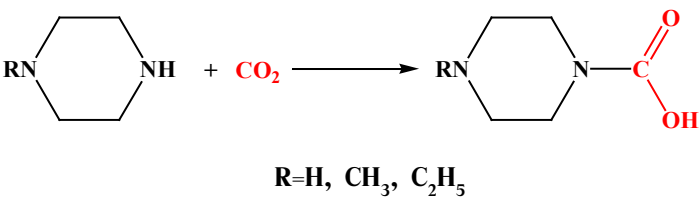
Նույն հարաբերությամբ KOH-ի ջրային լուծույթներով դիամինների մոտ կլանումը շատ ցածր տոկոս է կազմում: Մաքսիմալ ստացված արժեքը 40% է: Մինչդեռ, նույն միացությունների մաքուր կամ ջրային լուծույթները ավելի բարձր կլանողականություն են ցուցաբերում: Այդ պատճառով, էթիլենդիամինը, պրոպիլենդիամինը, բութիլենդիամինը, մեթիլպիպերազինը կիրառվել են քիմիապես մաքուր, իսկ պիպերազինը և էթիլպիպերազին 20% ջրային լուծույթների տեսքով: Դիամիններով CO₂ կլանելու պարագայում նկատվում է

հետաքրքիր երևույթ. CO_2 -ը կլանվում է ինչպես առաջին, այնպես էլ երկրորդ ազոտի ատոմի կողմից:

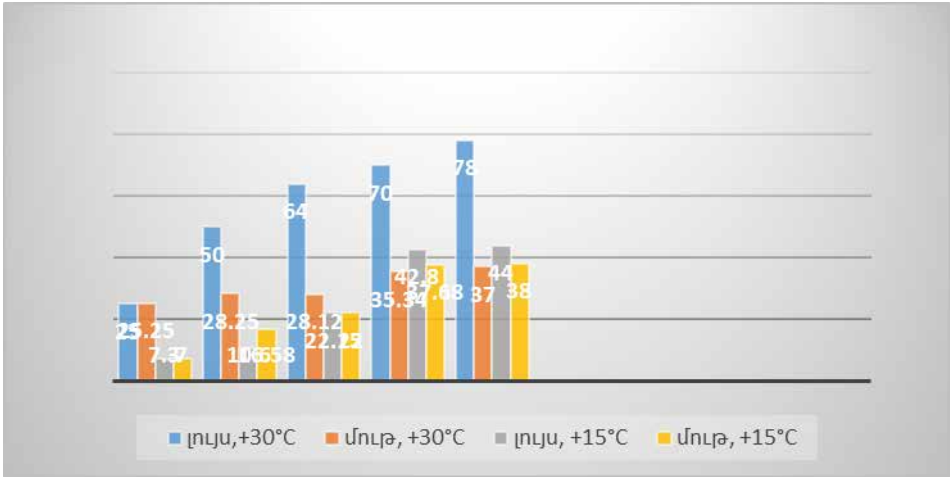


Սխեմա 2. Ուղիղ շղթայով դիամիններից կարբամատների ստացման ենթադրյալ ռեակցիան:

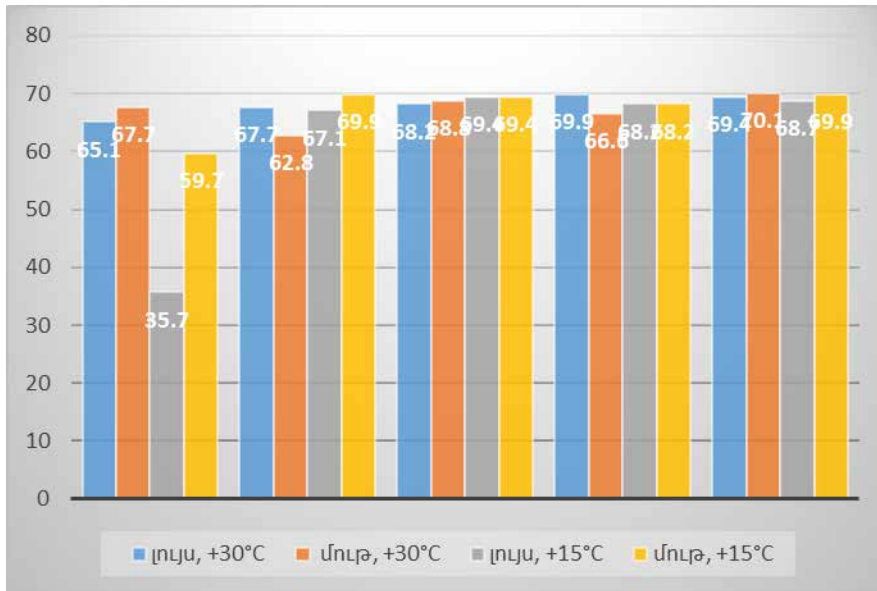
Ուսումնասիրվել է արևի լույսի և ջերմության ազդեցությունը CO_2 -ի կլանման վրա: Պարզվել է, որ էթիլենդիամինը կլանում է մինչև 89%՝ լույսի և ջերմության ազդեցությամբ, իսկ 38%՝ մթության և ցրտի պայմաններում (գրաֆիկ 1): Պիպերազինի դեպքում լուսավորությունն ու ջերմաստիճանը էական ազդեցություն չունեն (գրաֆիկ 2):



Սխեմա 3. Պիպերազինի ածանցյալների ածխաթթու գազի կլանման ռեակցիան:



Գրաֆիկ 1. Էթիլենդիամինի կլանողականությունը:



Գրաֆիկ 2. Պիպերազինի կլանողականությունը:

Եզրկացություն

Անկախ հիմքի տեսակից և հիմնայնության աստիճանից, կարելի է հասնել CO_2 -ի կլանման բարձր ցուցանիշների: Ցույց է տրվել, որ արևի լույսի և ջերմության ազդեցությամբ էթիլենդիամինի կլանումը կարող է հասնել մինչև 89%, մթության և ցրտի պայմաններում կլանումը չի գերազանցում 38%-ը, մինչդեռ պիպերազինի դեպքում լուսավորությունն ու ջերմաստիճանը էական նշանակություն չունեն: Ականոլամիններից 3-ամինո-1-պրոպանոլը և 2-ամինո-1-պրոպանոլը մինչև հինգ կլանման դեպքում ամենաշատ 50 % կլանում են ապահովում, մինչդեռ վերջիններիս KOH -ով ջրային լուծույթներում կլանումը հասնում է մինչև 90% և 72%, համապատասխանաբար: Դիամիններով CO_2 կլանելու պարագայում CO_2 -ը կլանվում է ինչպես առաջին, այնպես էլ երկրորդ ազոտի ատոմի կողմից՝ առաջացնելով բիկարբոնատներ:

Հետազոտությունը իրականացվել է ՀՀ Բարձրագույն Կրթության և Գիտության Կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 23LCG-1D019 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

Օգտագործված գրականության ցանկ

1. <https://wmo.int/>
2. <https://www.worldometers.info/co2-emissions/co2-emissions-by-country/>
3. <https://www.carboncaptureeuropesummit.com/>
4. Bastin J. F., Clark E., Elliott T., Hart S., Understanding Climate Change from a global analysis of city analogues, PloS ONE. 2019, 14, e0224120, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217592>
5. Ontl, T. A. & Schulte, L. A. Soil Carbon Storage. Nature Education Knowledge. 2012, 3(10): 35. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-carbon-storage-84223790/>
6. Lashaki M. J., Khiavi S., Sayari A., Stability of amine-functionalized CO_2 adsorbents: a multifaceted puzzle, Chemical Society Reviews, 019, 12, 3320–3405, <https://doi.org/10.1039/C8CS00877A>
7. Meng F., Meng Y., Ju T., Han S., Lin L., Research progress of aqueous amine solution for CO_2 capture: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 168, 2022, 112902, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112902>

8. Liu F., Fang M., Dong W., Wang T., Xia Z., Wang Q., Luo Z., Carbon dioxide absorption in aqueous alkanolamine blends for biphasic solvents screening and evaluation, *Applied Energy*, 2019, 233–234, 468–477, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.007>
9. Ciftja F., Hartono A., Svendsen H. F., Carbamate Formation in Aqueous – diamine – CO₂ Systems, *Energy Procedia*, 2013, 37, 1605–1612, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.036>
10. Xu Y., Wang T., Yang Q., Yu H., Fang M., Puxty G., CO₂ absorption performance in advanced water-lean diamine solvents, *Chemical Engineering Journal*, 425, 2021, 131410, ISSN 1385–8947, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131410>
11. Barzagli F., Peruzzini M., Zhang R., Direct CO₂ capture from air with aqueous and nonaqueous diamine solutions: a comparative investigation based on ¹³C NMR analysis, *Carbon Capture Science & Technology*, 3, 2022, 100049, ISSN 2772–6568. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100049>
12. Said R., Rahali S., Yan C., Seydou M., Tangour B., Sayari A., CO₂ Capture by Diamines in Dry and Humid Conditions, *The Journal of Physical Chemistry A* 2023 127 (37), 7756–7763 <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.3c04416>
13. Jin L., Hou X., Zhan L., Hou D., Gu L., Analysis of the changes in the absorption and regeneration performance of diethylenetriamine in carbon capture environments with functionalised alcohols and mixed amines, *Fuel*, 368, 2024, 131375, ISSN 0016–2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131375>.
14. Gülcihan G. K., Diamine functionalised volcanic tuff: a promising CO₂ adsorbent, *JCTB*, 98, 2023, 2489–2496, <https://doi.org/10.1002/jctb.7474>
15. Liu S., Gao H., He C., Liang Z., Experimental evaluation of highly efficient primary and secondary amines with lower energy by a novel method for post-combustion CO₂ capture, *Applied Energy*, 233–234, 2019, 443–452, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.031>
16. Chowdhury F. A., Goto K., Yamada H., Matsuzaki Y., A screening study of alcohol solvents for alkanolamine-based CO₂ capture, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 99, 2020, 103081, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2020.103081>
17. Арутюнян А., Сафарян Э., Сакеян А., Воздействие CO₂ на окружающую среду. поглощение CO₂ аминами, *Вестник медицинского колледжа Меграбян*, 17, 2024, doi: 10.53821/1829040X–2024.17–113 World Meteorological Organization