




[https://doi.org/10.51885/3134-8009\\_IJS\\_2026\\_1\\_7](https://doi.org/10.51885/3134-8009_IJS_2026_1_7)

XFTAP 61.67.81

## ҮЙІНДІЛЕРДІҢ ЖЫЛУДАН ҚОРҒАЙТЫН ЖАБЫНДАРЫНА АРНАЛҒАН ГЕОКОМПОЗИТТЕРДІҢ ТӨЗІМДІЛІГІ ЖӘНЕ МИКРОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРІ

### МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ГЕОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОТВАЛОВ

### MICROSTRUCTURAL STUDIES AND DURABILITY OF GEOCOMPOSITES FOR THERMAL PROTECTION COATINGS OF LANDFILLS

Н.В. Серая <sup>1\*</sup>, В.В. Литвинов <sup>2</sup>, Г.К. Даумова <sup>1\*</sup>,  
Д.Е. Советханов <sup>1</sup>, М.М. Баймурзина <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>«Жобалық-экологиялық бюро» ЖШС, Өскемен қ., Қазақстан

\*Жауапты автор: Даумова Гульжан Камалбекқызы, e-mail: GDaumova@edu.ektu.kz

#### Түйінді сөздер:

геокомпозит, төмен қысымды полиэтилен, геотекстиль, микроқұрылым, төзімділік, растрлық электронды микроскопия, жылудан қорғайтын жабын, пайдалану қасиеттері.

#### ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада Қоңырат кенішінің ТМТ үйінділерінің қысқы блоктарын жабу үшін қолданылатын төмен қысымды полиэтиленнен (ТҚП) және геотекстильден тұратын геокомпозиттің төзімділігін бағалау бойынша эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Өртүрлі уақытта (бір айдан үш жылға дейін) пайдаланылған үлгілер зерттелді. JSM-6390LV растрлық электронды микроскопын ("JEOL", 2007) қолдана отырып, ТҚП және геотекстиль беттеріне микроқұрылымдық зерттеулер жүргізілді. Пайдалану процесінде ТҚП бетінде материалдың біртіндеп деформациясын көрсететін микрожарықтар мен ойықтар пайда болатыны анықталды, ал геотекстиль құрылымы тұтастықты сақтайды. Нәтижелер геокомпозиттің полимерлі матрицасының деградациясының сипатын бағалауға және оның ұзақ мерзімді пайдалану жағдайында сыртқы әсерлерге жоғары төзімділігін растауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, полимер бөлігінде микроақаулар болса да, жабын өзінің функционалдығын сақтап, жылу қорғауды тиімді орындауды жалғастыратынын көрсетті.

#### Ключевые слова:

геокомпозит, полиэтилен низкого давления, геотекстиль, микроструктура, долговечность, растровая электронная

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке долговечности геокомпозита, состоящего из полиэтилена низкого давления (ПНД) и геотекстиля, применяемого для укрытия зимних блоков отвалов ТМО Коунрадского рудника. Исследованы образцы, находившиеся в эксплуатации различное время (от одного месяца до трёх лет).



микроскопия,  
теплозащитное  
покрытие,  
эксплуатационные  
свойства.

Проведены микроструктурные исследования поверхностей ПНД и геотекстиля с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6390LV («JEOL», 2007). Установлено, что в процессе эксплуатации на поверхности ПНД формируются микротрещины и продавливания, свидетельствующие о постепенной деформации материала, тогда как структура геотекстиля сохраняет целостность. Результаты позволяют оценить характер деградации полимерной матрицы геокомпозита и подтвердить его высокую устойчивость к внешним воздействиям в условиях длительной эксплуатации. Также выявлено, что даже при наличии микродефектов в полимерной части покрытие сохраняет свою функциональность и продолжает эффективно выполнять теплозащитные задачи.

---

**Keywords:**

geocomposite, low-  
pressure polyethylene,  
geotextile, microstructure,  
durability, scanning  
electron microscopy,  
thermal protective coating,  
operational properties.

---

**ABSTRACT**

The article presents the results of experimental studies to assess the durability of a geocomposite consisting of low-pressure polyethylene (HDPE) and geotextile used to shelter winter blocks of the TMO dumps of the Kounrad mine. Samples that have been in use for various periods (from one month to three years) have been studied. Microstructural studies of HDPE and geotextile surfaces were performed using a JSM-6390LV scanning electron microscope (JEOL, 2007). It has been established that microcracks and perforations form on the HDPE surface during operation, indicating gradual deformation of the material, while the geotextile structure remains intact. The results make it possible to assess the nature of the degradation of the polymer matrix of the geocomposite and confirm its high resistance to external influences under long-term operation conditions. It was also revealed that even in the presence of microdefects in the polymer part, the coating retains its functionality and continues to effectively perform thermal protection tasks.

---

**КІРІСПЕ**

Тау-кен кәсіпорындарын пайдалану жағдайында қолайсыз климаттық факторлардың әсеріне ұшыраған технологиялық үйінділер мен қысқы блоктардың сақталуы мен тұрақтылығын қамтамасыз ету ерекше маңызға ие. Мұндай объектілерді қорғаудың тиімді әдістерінің бірі – геосинтетикалық материалдарды, атап айтқанда, жылудан қорғау, оқшаулау және эрозияға қарсы жабындар функцияларын орындайтын геокомпозиттерді қолдану (Litvinov et al., 2023). Геосинтетиктерді қолдану жылу шығынын азайтуға, үйінді массаларының қатып қалуын болдырмауға, судың қанықтылығын азайтуға және экстремалды климаттық жағдайларда құрылымдардың төзімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді (Wu et al., 2020).

Полимерлі және тоқыма құрамдас бөліктерінен тұратын геокомпозиттер жоғары беріктікке, химиялық және биологиялық әсерлерге төзімділікке және дренаждық функцияларды орындау қабілетіне ие, бұл оларды гидротехникалық, көліктік және тау-кен құрылысында сұранысқа ие етеді (Carneiro and Lopes, 2022). Ең көп тарағандары су өткізбейтін және механикалық төзімділікті біріктіретін төмен қысымды полиэтилен (ТҚП) және тоқыма емес геотекстиль негізіндегі геокомпозиттер (Al-Barqawi et al., 2021; Scholz et al., 2024). Геотекстильдер күрделі ландшафттық-климаттық әсерлер жағдайында беттерді нығайту, дренаждау, жылу оқшаулау және қорғау үшін қолданылатын әмбебап талшықты материалдар екені белгілі (Tanasä et al., 2022).

Күн радиациясының, мұздату-еріту циклдерінің, механикалық жүктемелердің және химиялық қартаюдың әсерінен ұзақ уақыт жұмыс істеу процесінде полимер

компоненттерінің құрылымында жабынның пайдалану қасиеттеріне әсер ететін деградациялық өзгерістер орын алады (Carneiro et al., 2022; Markiewicz et al., 2024). Зерттеулер көрсеткендей, полимерлердің қартаюында микрожарықтардың пайда болуы, тотығу, кристалдылықтың төмендеуі және беткі морфологияның өзгеруі байқалады (Lebedev et al., 2023; Balla et al., 2019). Бұл жағдайда полипропилен немесе полиэфир талшықтарынан жасалған геотекстильді қабаттар полимерлі талшықтармен салыстырғанда климаттық және механикалық әсерлерге жоғары төзімділікті көрсетеді (Chubarenko et al., 2023; Koerner et al., 2017).

Геосинтетикалық материалдардың төзімділігін бағалау үшін микроқұрылымдық талдау әдістері (Odeh et al., 2022), атап айтқанда, морфологиялық өзгерістерді, микродефектілерді және беттің тозу формаларын анықтауға мүмкіндік беретін растрлық электронды микроскопия (РЭМ) белсенді қолданылады (Jwaida et al., 2023; Aparicio-Ardila et al., 2021). РЭМ зерттеулері полимерлердің қартаю заңдылықтарын анықтауға және материалдың қызмет ету мерзімі мен оның құрылымының өзгеруі арасындағы корреляцияны анықтауға мүмкіндік береді. Бұл деректер геосинтетиктердің төзімділігін болжау және олардың жұмысына төзімділігін арттыру бойынша ұсыныстар жасау үшін қолданылады (Vicuña et al., 2024).

Осыған байланысты, оның төзімділігін бағалау және материалдың бұзылуын немесе тұтастығын сақтауды анықтайтын факторларды анықтау мақсатында ұзақ мерзімді пайдалану процесінде ТҚП және геотекстиль негізінде геокомпозитте болатын микроқұрылымдық өзгерістерді кешенді зерттеу өзекті міндет болып табылады.

Бұл жұмыс Қоңырат кенішінің ТМТ үйінділерінің қысқы блоктарының жылудан қорғайтын жабыны ретінде қолданылатын геокомпозиттің микроқұрылымын эксперименттік зерттеуге арналған. Зерттеу барысында растрлық электронды микроскопияны қолдана отырып, әртүрлі уақытта жұмыс істеп тұрған үлгілерді салыстыру жүргізілді, бұл полимер матрицасы мен геотекстиль қабатының құрылымын пайдалану ұзақтығы мен сыртқы әсерлерге байланысты өзгерту заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік берді.

## МАТЕРИАЛДАР МЕН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Зерттеу нысаны екі функционалды қабаттан тұратын геокомпозит болды: төмен қысымды полиэтилен пленкасы (ТҚП) және тоқылмаған геотекстиль, ол Қоңырат кенішінің техногендік-минералды түзілімдер үйінділерінің (ТМТ) қысқы блоктарының жылудан қорғайтын жабыны ретінде қолданылады. Бұл материал үйінділердің беткі қабаттарының қатып қалуын және артық ылғалдануын болдырмау үшін, сондай-ақ жел мен су эрозиясынан қорғау үшін қолданылады.

Пайдалану мерзімінің геокомпозиттің микроқұрылымына әсерін бағалау үшін әр түрлі уақытта жұмыс істеп тұрған үлгілердің үш тобы іріктелді:

- 3 жыл — 2020 жылғы жабын үлгілері (3-ші блок, 16-шы үйінді);
- 2 жыл — 2021 жылғы жабын үлгілері (20-шы блок, 16-шы үйінді);
- 1 ай — 2022 жылғы жабын үлгілері (26-шы блок, 16-шы үйінді).

Әрбір үлгі екі қабатты құрылым болды: сыртқы жағы — ТҚП пленкасы, ішкі жағы — тоқыма емес геотекстильді мата (1-3 суреттер).

Үлгілер пайдаланылатын үйінділердің бетінен алынып, алдын ала тазалаусыз зертханалық зерттеулерге жіберілді.

*Үлгілерді микроқұрылымдық талдауға дайындау*

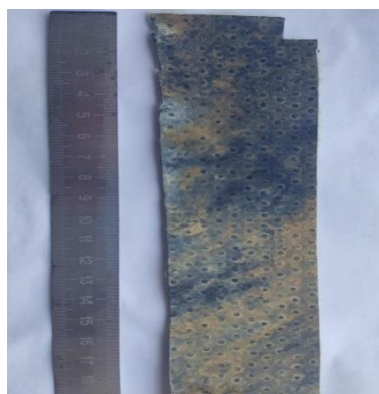
Микроқұрылымдық зерттеулер үшін үлгілер екі күйде зерттелді — жуылмаған (пайдаланудан кейін бастапқы түрінде) және жуылған (беткі ластануды алып тастағаннан

кейін). Микроқұрылымдық зерттеулерге дайындық кезінде геокомпозит үлгілері екі бөлікке бөлінбей зерттелді, беттердің екі жағында, олардың бірінде төмен қысымды полиэтилен қабаты (ТҚП), екіншісінде геотекстиль қабаты болды.



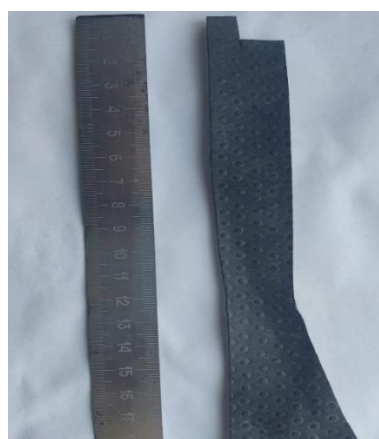
**1-сурет.** Сыртқы (ТҚП) және ішкі жағынан (геотекстиль) геокомпозит үлгісінің түрі (3-ші блок, 16-шы үйінді, 2020 ж.).

*Ескерту – авторлармен құрастырылған*



**2-сурет.** Сыртқы (ТҚП) және ішкі жағынан (геотекстиль) геокомпозит үлгісінің түрі (20-шы блок, 16-шы үйінді, 2021 ж.).

*Ескерту – авторлармен құрастырылған*



**3-сурет.** Сыртқы (ТҚП) және ішкі жағынан (геотекстиль) геокомпозит үлгісінің түрі (26-шы блок, 16-шы үйінді, 2022 ж.).

*Ескерту – авторлармен құрастырылған*

Жуу бейтарап жуғыш зат пен жұмсақ щетканы пайдаланып ағынды суда жүргізілді, содан кейін үлгілер тазартылған суы бар шыны ыдысқа салынып, Struers Metason 60T ультрадыбыстық ваннасында 2-3 минут ішінде қосымша тазартылды. Үлгілерді кептіру Struers Drybox 2 құрылғысында бөлме температурасында ылғал толығымен жойылғанға дейін жүргізілді.

Кейінгі талдау үшін үлгілер тұрақты жанасуды қамтамасыз ететін және микроскопия кезінде бетте зарядтардың жиналуын болдырмайтын өткізгіш көміртекті желім арқылы арнайы ұстағыштарға бекітілді.

#### *Зерттеу әдістері*

Микроқұрылымды зерттеу төмен вакуум режимінде жұмыс істейтін JSM-6390LV (JEOL шығарған, 2007 ж.) растрлық электронды микроскоптың көмегімен жүргізілді. Талдау геокомпозиттің екі жағы — полимер (ТҚП) және тоқыма (геотекстиль) үшін жүргізілді. Микрографтар әртүрлі үлкейтулермен ( $\times 35$ -тен  $\times 5000$ -ға дейін) түсірілді, бұл беттік морфологияның ерекшеліктерін, ақаулардың сипатын және полимер матрицасының деградация дәрежесін анықтауға мүмкіндік берді. Алынған кескіндер құрылымдық өзгерістерді, микрожарықтарды, деформацияларды және бөгде қосылыстардың болуын анықтау мақсатында талданды. Деректерді сапалы өңдеу сандық форматтағы микрографтарды қолдану арқылы жүзеге асырылды. Беттің күйін бағалау жұмыс уақыты бойынша ерекшеленетін үлгілердің суреттерін талдау негізінде визуалды және салыстырмалы түрде жүргізілді.

#### *Геотекстиль құрылымы туралы қосымша мәліметтер*

Зерттелетін геокомпозиттің бөлігі ретінде қолданылатын тоқыма емес геотекстиль-жоғары төзімділігі, өткізгіштігі және ультракүлгін сәулелерге, көгеруге және саңырауқұлақ инфекцияларына төзімділігі бар синтетикалық талшықтардан (полипропилен немесе полиэфир) жасалған термиялық бекітілген кенеп. Бұл материал механикалық төзімділік пен химиялық инерттің үйлесуіне байланысты дренаждық және сүзу жүйелерінің барлық түрлерінде қолданылады.

## **НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ**

### *Жуылмаған геокомпозит үлгілерінің микроқұрылымдық ерекшеліктері*

Әр түрлі уақытта жұмыс істеп тұрған жуылмаған геокомпозит үлгілерін микроқұрылымдық талдау полиэтилен пленкасы мен геотекстиль қабатының бетіндегі тән өзгерістерді анықтауға мүмкіндік берді. Қабаттың ТҚП бетінің микрографтарында (кесте 1) тығыздығы мен морфологиясы әртүрлі аймақтары бар полимер матрицасының көп фазалы құрылымының болуы байқалады. Бұл аймақтар дұрыс емес пішінді борпылдақ оралған элементтермен ұсынылған, бұл жұмыс кезінде жабысып қалған кен материалының қалдықтарына байланысты.

Барлық үлгілер үшін микро ақаулардың, атап айтқанда микрожарықтар мен жергілікті көз жасының болуы, әсіресе екі жылдан астам пайдаланудағы материалдарда байқалғаны тіркелді (1 кесте). Геокомпозиттің беті кептіру процесінде жарылып, жарықтардың мозаикалық үлгісін құрайтын құрғақ жауын-шашынның жұқа қабатының пайда болуымен сипатталады. Бұл сурет ылғал мен ультракүлгін сәулелердің циклдік әсеріне ұшыраған полимерлі материалдарға (Wu et al., 2020; Markiewicz et al., 2024) тән.

Уақыт өте келе жарықтар минералды материалдың ірі түйіршікті бөлшектерімен толтырылатыны байқалды, бұл полимер бетінің күйін визуалды бағалауды қиындатады. Кейбір жағдайларда полимер қабатының жұқа тақтайшаларының жиектері бүгіліп бөлінуі байқалады, бұл климаттық факторлардың әсерінен шаршау шытынаулары мен ТҚП шөгү процестерін көрсетеді.

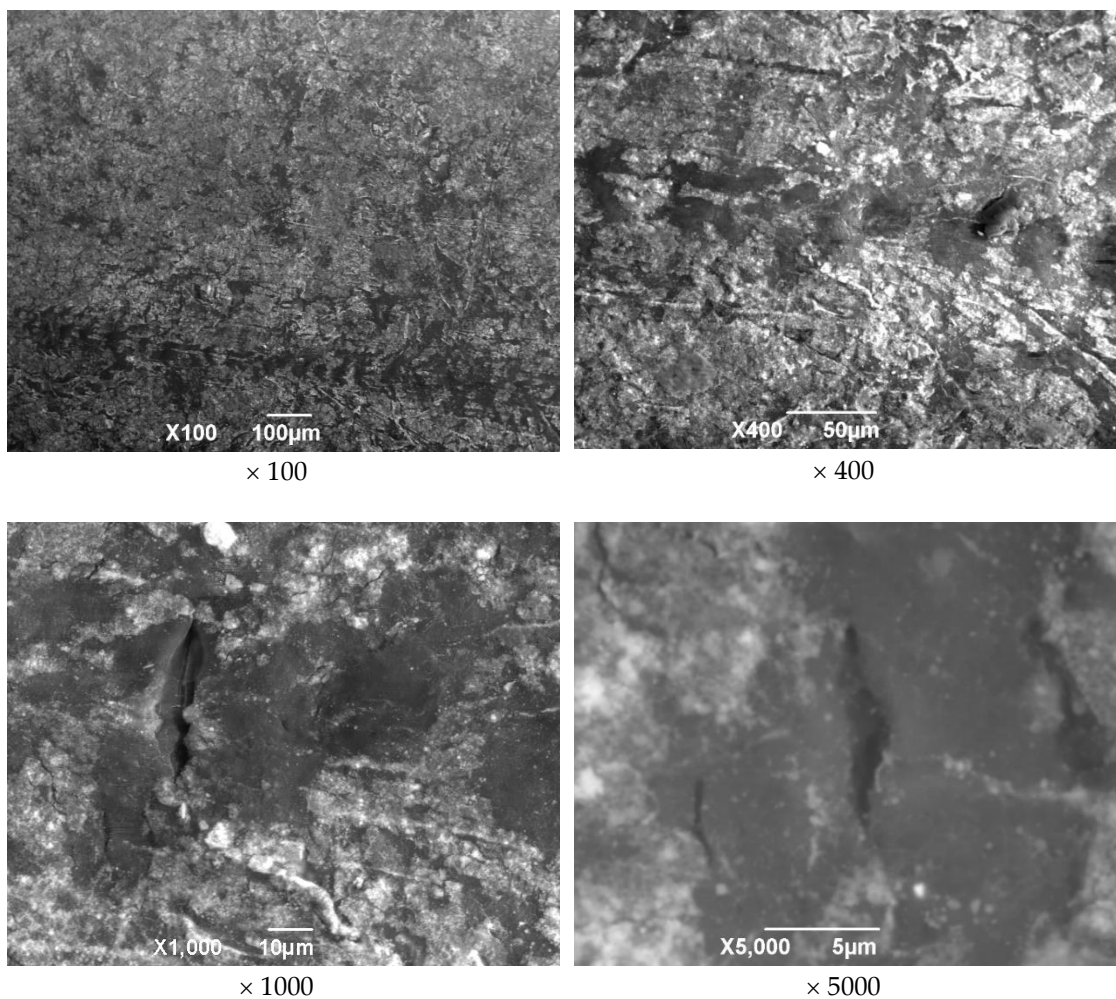
1-кесте. Өртүрлі уақытта пайдалануда болған жуылмаған геокомпозит үлгілерінің  
сыртқы бетінің микроқұрылымы

Жуылмаған геокомпозит үлгілерінің сыртқы бетінің микроқұрылымы / пайдалану мерзімі	
Ұлғайту	2022 жылғы жабын (26-шы блок, 16-шы үйінді) 1 ай
x 100-200	2021 жылғы жабын (20-шы блок, 16-шы үйінді) 2 жыл
	2020 жылғы жабын (3-ші блок, 16-шы үйінді) 3 жыл
x 5000	2021 жылғы жабын (20-шы блок, 16-шы үйінді) 2 жыл
	2020 жылғы жабын (3-ші блок, 16-шы үйінді) 3 жыл

Ескерту – авторлармен құрастырылған

*Үлгілерді жуганнан кейінгі бетінің жағдайы*

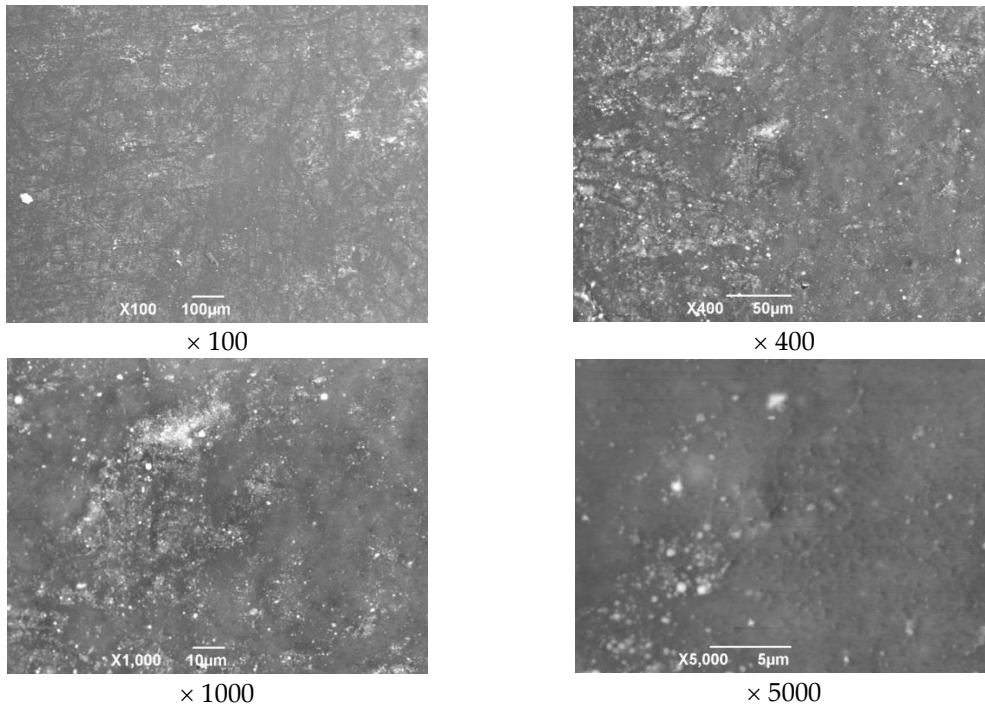
Ластануды алып тастағаннан және ультрадыбыстық тазартудан кейін ТҚП пленкасының беті қайта зерттелді. Жуу беткі жауын-шашынның әсерін болдырмауға және полимер матрицасының шынайы күйін анықтауға мүмкіндік берді. Микрофотографияны талдау ТҚП қабаттың құрылымы тұтастықты сақтайтынын көрсетті, бірақ механикалық зақымданумен байланысты емес микрожарықтар, микрожарықтар мен ойықтар бетінде айқын көрінеді. Микрошытынаулардың ең көп саны үш жыл жұмыс істеп тұрған үлгіде тіркелген (4-сурет).



**4-сурет.** Жуылған геокомпозит үлгісінің сыртқы бетінің микроқұрылымы  
(3-ші блок, 16-шы үйінді, 2020 ж.)

*Ескерту – авторлармен құрастырылған*

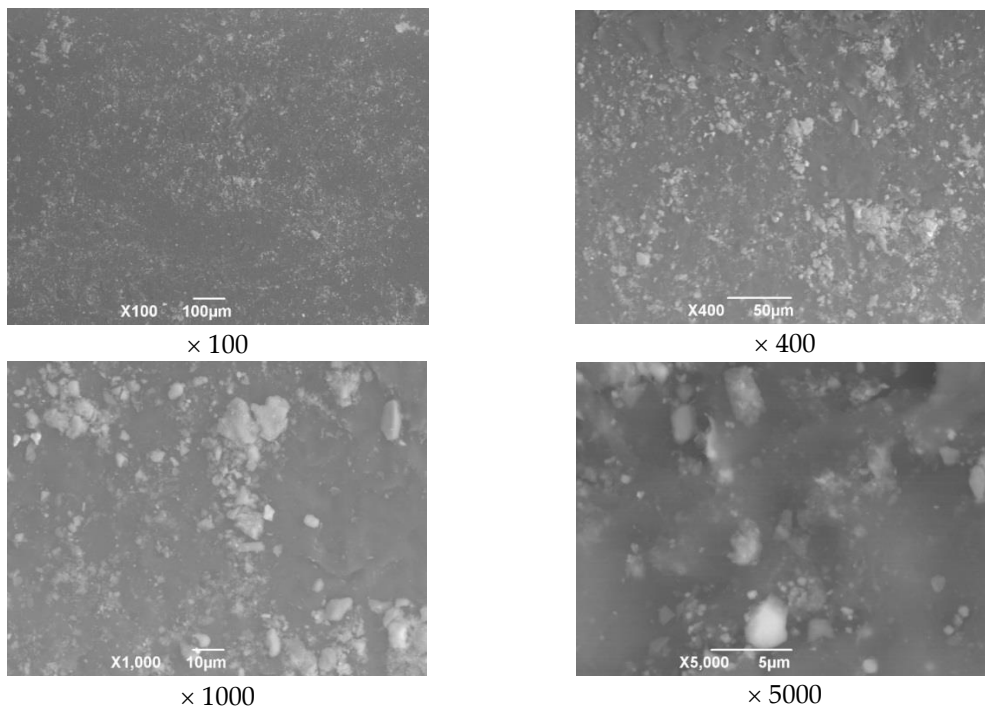
Бұл ақаулар кездейсоқ бағытталған, ұзындығы мен ені әртүрлі, бұл полимер құрылымында деформациялар мен релаксация процестерінің біртіндеп жиналуын көрсетеді. Екі жыл жұмыс істеген үлгіде (5-сурет) беті негізінен жабынның тұтастығын бұзбай ойықтармен және ойылымдармен сипатталады.



**5-сурет.** Жуылған геокомпозит үлгісінің сыртқы бетінің микроқұрылымы  
(20-шы блок, 16-шы үйінді, 2021 ж.)

*Ескерту – авторлармен құрастырылған*

Бір айлық пайдалану мерзімінің үлгілері (6-сурет) микро ақаулардан тұрмайды; беті біркелкі және тегіс, бұл пайдаланудың бастапқы кезеңінде құрылымдық өзгерістердің жоқтығын растайды.



**Сурет 6 –** Жуылған геокомпозит үлгісінің сыртқы бетінің микроқұрылымы  
(26-шы блок, 16-шы үйінді, 2022 ж.)

*Ескерту – авторлармен құрастырылған*

Бақылау деректері полимерлі геосинтетиктердің төзімділігін зерттеу нәтижелеріне сәйкес келеді, оған сәйкес деградацияның бастапқы белгілері күн радиациясының және мұздату-еріту циклдерінің әсерінен 2-3 жыл жұмыс істегеннен кейін көрінеді (Markiewicz et al., 2024).

*Геотекстильді қабаттың микроқұрылымы*

Үш жыл жұмыс істегеннен кейін геокомпозиттің құрамынан алынған геотекстиль бетінің микроқұрылымын зерттеу нәтижелері тоқыма емес мата термиялық бекіту әдісімен біріктірілген ретсіз орналастырылған синтетикалық талшықтар (моножіп) жүйесімен ұсынылғанын көрсетті. Алынған микрографтар (2-кесте) талшықтардың тығыз және біркелкі құрылымды құрайтындығын көрсетеді, онда материалдың төзімділігі мен сүзу өнімділігін қамтамасыз ететін нақты кеңістіктік ұйымы сақталады.

Талшық аралық кеңістікте және кенептің қалыңдығында әртүрлі минералды құрамның қосындылары анықталды-конкрециялар, секрециялар, оралған және оралмаған тау жыныстарының бөлшектері, минералдардың сынықтары, сондай-ақ кен материалының фрагменттері. Бұл бөлшектер жұмыс кезінде матаның құрылымына енеді және талшықтардың тығыз тоқуы мен агломерациясы арқылы бекітіледі. Мұндай қосындылардың болуы геотекстильді қабаттың қоршаған ортамен белсенді әрекеттесуін растайды және оның бөлшектерді сүзу мен сақтаудағы рөлін көрсетеді.

Сыртқы көріністе гео-мата сыртқы ортаға ұзақ уақыт әсер еткеннен кейін де айтарлықтай өзгерістерге ұшыраған жоқ: талшықтар тұтастығын сақтап қалды, құрылымның созылу, бұзылу немесе деформация белгілері байқалмайды. Микроскопиялық талдау кезінде саңылаулар, түйіндер, қатпарлар, қыртыстар, жергілікті үзілістер, өрімдер, жіптердің өтуі немесе тіндерді босататын басқа ақаулар табылған жоқ. Материалдың талшықты құрылымы үлгінің бүкіл қалыңдығында тығыз, біркелкі және тұрақты болып қалды.

Бұл деректер геокомпозиттердің жұмыс жағдайларына тән механикалық, климаттық және гидродинамикалық әсерлерге геотекстильді қабаттың жоғары тұрақтылығын көрсетеді. Алынған нәтижелер инженерлік-геологиялық конструкцияларда көпжылдық пайдалану кезінде полипропилен және полиэфир геотекстильдерінің құрылымдық сипаттамаларының төзімділігі мен тұрақтылығын растайтын шетелдік зерттеулердің (Markiewicz et al., 2024; Chubarenko et al., 2023) деректеріне сәйкес келеді.

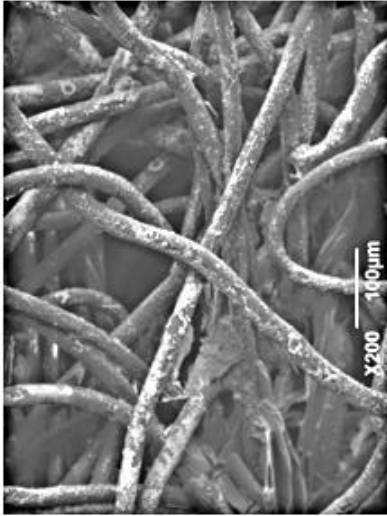
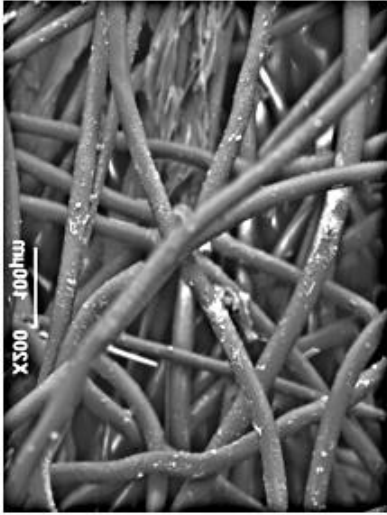
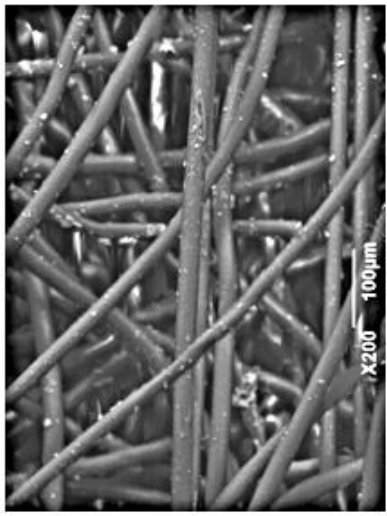
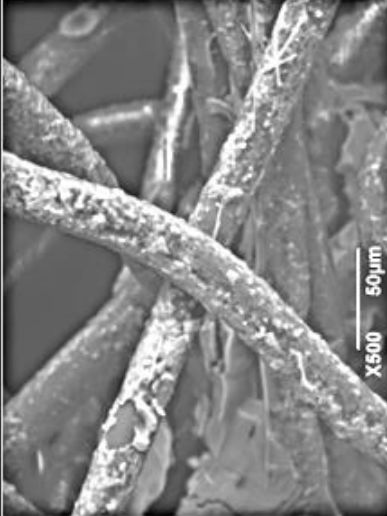
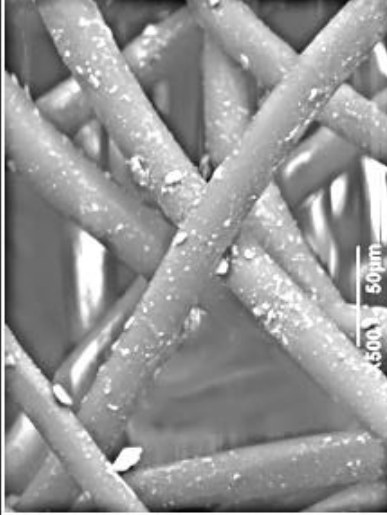
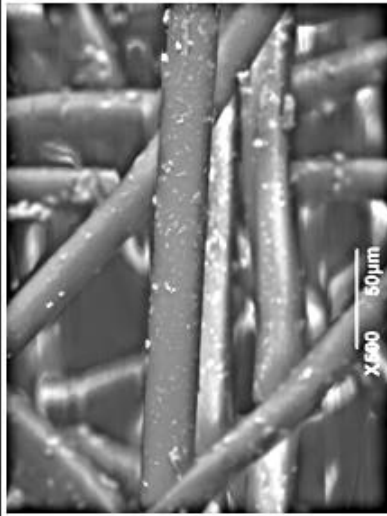
Осылайша, жүргізілген микроқұрылымдық талдау геокомпозиттің геотекстильді қабаты эксплуатациялық факторларға ұзақ уақыт әсер етсе де құрылымдық тұтастық пен функционалдық қасиеттерді сақтайтынын көрсетті, бұл оның арматуралық және сүзгі элементі ретінде сенімділігі мен тиімділігін растайды.

*Нәтижелерді жалпылау*

Әртүрлі жұмыс ұзақтығының үлгілерінің микроқұрылымдық сипаттамаларын салыстыру деградацияға ұшыраған негізгі элемент ТҚП пленкасы екенін көрсетеді, ал геотекстиль өз құрылымын сақтайды. ТҚП-де микрожарықтар мен жергілікті деформациялардың болуы фотоқартаюмен, тотығумен және температураның ауытқуымен байланысты, бұл ішкі кернеулердің релаксациясын және молекулааралық байланыстардың бұзылуын тудырады.

Жалпы, талдау көрсеткендей, үш жыл жұмыс істегеннен кейін де геокомпозит тұтастығын сақтайды және анықталған микро ақаулар материалдың қорғаныс функцияларының бұзылуына әкелмейді. Бұл қысқы блоктардың жылудан қорғайтын жабыны ретінде пайдаланылған кезде зерттелетін геокомпозиттің жеткілікті төзімділігін растайды.

2-кесте. Өртүрлі уақытта пайдалануда болған жуылмаған геокомпозит үлгілерінің сыртқы бетінің микроқұрылымы

Жуылмаған геокомпозит үлгілерінің сыртқы бетінің микроқұрылымы / пайдалану мерзімі			
Ұлғайту	2020 жылы жабын (3-ші блок, 16-шы үйінді) 3 жыл	2021 жылы жабын (20-шы блок, 16-шы үйінді) 2 жыл	2022 жылы жабын (26-шы блок, 16-шы үйінді) 1 ай
x 200			
x 500			

Ескерту – авторлармен құрастырылған

## ҚОРЫТЫНДЫ

Қоңырат кенішінің ТМТ үйінділерінің қысқы блоктарының жылудан қорғайтын жабыны ретінде пайдаланылатын төмен қысымды полиэтиленнен (ТҚП) және тоқыма емес геотекстильді төсемнен тұратын геокомпозиттің микроқұрылымын эксперименттік зерттеулер нақты тау-кен техникалық жағдайларда ұзақ уақыт пайдалану кезінде материал құрылымының өзгеру заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік берді.

1. Пайдалану процесінде геокомпозиттің құрылымы әсер ету ұзақтығына және сыртқы ортаның климаттық факторларының өзгеруіне байланысты өзгерістерге ұшырайтыны анықталды.

2. Екі жылдан астам уақыт бойы жұмыс істеп тұрған ТҚП пленкасының бетінде күн радиациясының, температуралық тербелістердің және механикалық жүктемелердің әсерінен полимер матрицасының біртіндеп деградациясын көрсететін микрожарықтар мен жергілікті деформациялар анықталды. Бұл жағдайда жабынның тұтастығының бұзылуы тіркелмеген, бұл материалдың механикалық бұзылуға жоғары тұрақтылығын растайды.

3. Геокомпозиттің геотекстильді қабаты үш жыл жұмыс істегеннен кейін де құрылымдық тұтастығын сақтайды. Микроқұрылымдық талдау талшықтардың созылу, жыртылу және шаршау зақымдану белгілерінің жоқтығын көрсетті, бұл тоқыма емес термиялық матаның жоғары механикалық төзімділігі мен климаттық тұрақтылығын растайды.

4. Зерттеу нәтижелері геокомпозиттің полимерлі компоненті — ТҚП пленкасы қартаюдың ескірудің ең үлкен дәрежесіне ұшырайтынын көрсетеді, ал геотекстиль жабын құрылымының бұзылуын болдырмайтын және оның пайдалану қасиеттерінің сақталуын қамтамасыз ететін тұрақтандыру функциясын орындайды.

5. Тұтастай алғанда, зерттелген геокомпозит қысқы үйінді блоктарының жылудан қорғайтын жабыны ретінде пайдаланылған кезде жоғары беріктік пен пайдалану сенімділігін көрсетті. Материал температура мен климаттың экстремалды факторларына үш жыл әсер еткеннен кейін де қорғаныс қасиеттері мен құрылымдық тұрақтылығын сақтайды.

6. Алынған нәтижелер геосинтетикалық материалдардың деградациялық өзгерістерін диагностикалау үшін растрлық электронды микроскопияны (РЭМ) қолданудың тиімділігін растайды. Техника инженерлік-геологиялық құрылыстарда қолданылатын геокомпозиттік жабындардың қызмет ету мерзімін болжау және олардың төзімділігін арттыру жөніндегі шараларды әзірлеу үшін ұсынылуы мүмкін.

Осылайша, ұзақ мерзімді пайдалану кезінде геокомпозиттің микроқұрылымын қалыптастыру мен өзгертудің белгіленген заңдылықтары қарқынды климаттық және механикалық әсерлер жағдайында жұмыс істеуге арналған геосинтетикалық материалдардың құрамын, құрылымын және өндіріс технологиясын оңтайландыру үшін ғылыми негіз бола алады.

**МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ:** Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

**ҚАРЖЫЛАНДЫРУ:** Бұл зерттеу сыртқы қаржыландыруды алған жоқ.

**АЛҒЫС:** Авторлар мақаланың сапасын жақсартуға ықпал еткен құнды ескертулер үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

**ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА:** Авторлар осы мақаланы әзірлеу барысында жасанды интеллект (ЖИ) құралдарын, соның ішінде генеративті тілдік модельдерді пайдаланбағанын растайды.

Барлық мәтіндік материалдар, деректер мен талдау нәтижелері авторлар тарапынан дербес дайындалды.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Litvinov, V.V., Aitekenova, D.A., Zhuravlev, I.P., Seraya, N.V., Daumova, G.K. (2023). Increasing the Duration of Dump Leaching of Copper Under Winter Conditions. *Metallurgist*, 67(3-4), 542-553. <https://doi.org/10.1007/s11015-023-01536-x>
- Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y., Liu, T. (2020). Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering. *Materials*, 13(7), 1774. <https://doi.org/10.3390/ma13071774>
- Carneiro, J.R., Lopes, M.d.L. (2022). Weathering of a nonwoven polypropylene geotextile: Field vs. laboratory exposure. *Materials*, 15, 8216. <https://doi.org/10.3390/ma15228216>
- Al-Barqawi, M., Aqel, R., Wayne, M., Titi, H., Elhajjar, R. (2021). Polymer Geogrids: A Review of Material, Design and Structure Relationships. *Materials*, 14, 4745. <https://doi.org/10.3390/ma14164745>
- Scholz, P., Falkenhagen, J., Wachtendorf, V., Brüll, R., Simon, F.-G. (2024). Investigation on the Durability of a Polypropylene Geotextile under Artificial Aging Scenarios. *Sustainability*, 16, 3559. <https://doi.org/10.3390/su16093559>
- Tanasă, F., Nechifor, M., Ignat, M.-E., Teacă, C.-A. (2022). Geotextiles - A Versatile Tool for Environmental Sensitive Applications in Geotechnical Engineering. *Textiles*, 2, 189-208. <https://doi.org/10.3390/textiles2020011>
- Carneiro, J.R., Lopes, M.d.L. (2022). Weathering of a nonwoven polypropylene geotextile: Field vs. laboratory exposure. *Materials*, 15, 8216. <https://doi.org/10.3390/ma15228216>
- Markiewicz, A., Koda, E., Kiraga, M., Wrzesiński, G., Kozanka, K., Naliwajko, M., Vaverková, M.D. (2024). Polymeric Products in Erosion Control Applications: A Review. *Polymers*, 16, 2490. <https://doi.org/10.3390/polym16172490>
- Lebedev, M.P., Startsev, O.V., Petrov, M.G., Kopyrin M.M. (2023). The Formation of Microcracks during Climatic Aging of Polymer-Composite Materials. *Polymer Science, Series D*, 16, 116–123. <https://doi.org/10.1134/S199542122301015X>
- Balla, V.K., Kate, K.H., Satyavolu, J., Singh, P., Tadimetri, J.G.D. (2019). Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. *Composites Part B: Engineering*, 106956, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106956>
- Chubarenko, B., Domnin, D., Simon, F.-G., Scholz, P., Leitsin, V., Tovpinets, A., Karmanov, K., Esiukova, E. (2023). Change over Time in the Mechanical Properties of Geosynthetics Used in Coastal Protection in the South-Eastern Baltic. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11, 113. <https://doi.org/10.3390/jmse11010113>
- Koerner, R., Hsuan, Y., Koerner, G. (2017). Lifetime predictions of exposed geotextiles and geomembranes. *Geosynthetics International*, 24, 198–212. <https://doi.org/10.1680/jgein.16.00026>
- Odeh, N.A., Al-Rkaby, A.H.J. (2022). Strength, Durability, and Microstructures characterization of sustainable geopolymer improved clayey soil. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00988. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00988>
- Jwaida, Z., Dulaimi, A., Mashaan, N., Othuman Mydin, M.A. (2023). Geopolymers: The Green Alternative to Traditional Materials for Engineering Applications. *Infrastructures*, 8, 98. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8060098>
- Aparicio-Ardila, M.A., Pedroso, G.O.M., Kobelnik, M., Valentin, C.A., Luz, M.P., Silva, J.F. (2021). Evaluating the degradation of a nonwoven polypropylene geotextile exposed to natural weathering for 3 years. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 7, 69. <https://doi.org/10.1007/s40891-021-00314-6>

Vicuña, L., Jaramillo-Fierro, X., Cuenca, P.E., Godoy-Paucar, B., Inga-Lafebre, J.D., Chavez Torres, J.L., García, J.F., Guaya, D., Febres, J.D. (2024). Evaluation of the Effectiveness of Geogrids Manufactured from Recycled Plastics for Slope Stabilization-A Case Study. *Polymers*, 16, 1151. <https://doi.org/10.3390/polym16081151>

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Серая Наталья Владимировна** – химия ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Серая Наталья Владимировна** – кандидат химических наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Seraya Natalya Vladimirovna** – Candidate of Chemical Sciences, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,  
e-mail: NSeraya@edu.ektu.kz,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7991-9129>



**Литвинов Вадим Викторович** – техника және технология магистрі, «Жобалық-экологиялық бюро» ЖШС, Өскемен, Қазақстан

**Литвинов Вадим Викторович** – магистр техники и технологии, ТОО «Проектно-экологическое бюро», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Litvinov Vadim Viktorovich** – master of Engineering and Technology, «Proektno-ekologicheskoe byuro» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,  
e-mail: litvinov\_vadim@mail.ru,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7272-2526>



**Даумова Гульжан Камалбеккызы** – техника ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Даумова Гульжан Камалбеккызы** – кандидат технических наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Daumova Gulzhan Kamalbekkyzy** – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,  
e-mail: GDaumova@edu.ektu.kz,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6312-5343>



**Советханов Дәурен Ерланұлы** – металлургиялық инженерия докторанты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Советханов Дәурен Ерланұлы** – докторант металлургической инженерии, Восточно-Казakhstanский технический университет им. Д. Серікбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Sovetkhanov Dauren Yerlanuly** – doctoral student in Metallurgical Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: dauren.sovetkhanov@bk.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0945-5991>



**Баймурзина Мерей Маратқызы** – Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Баймурзина Мерей Маратқызы** – Восточно-Казakhstanский технический университет им. Д. Серікбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Baimurzina Merrey Maratkyzy** – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: may787585@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3167-9112>