Nuqson konsentratsiyasining oshishi C atomlarining o‘rtacha qismiy zaryadini oshiradi, natijada grafen yuzasida $H_2$ miqdori ortadi va adsorbsiyalanish kuchayadi. 3*a* va 3*b* rasmlarda ko‘rsatilganki, past konsentratsiyalarda nuqson hajmining oshishi $H_2$ adsorbsiyasini tezlashtiradi (BNG-1, ING-1, UNG-1 uchun ~0,175–0,178 wt%). Ammo BNG-4, ING-4, UNG-4 holatlarida adsorbsiya tezligi ~12 marta kamayadi, chunki kattaroq nuqsonlar va ularning o‘zaro ta’sirlari adsorbsiyani sekinlashtiradi.

**Xulosa.** Molekular dinamika natijalari grafendagi nuqsonlar hajmi va konsentratsiyasi ortishi $H_2$ fizisorbsiyasini kuchaytirishini ko‘rsatdi. Eng yuqori nuqson ulushida (10,27%) 300 K va 0,9 atm.da gravimetrik zichlik 2,16 wt.%ga yetdi. Natijalar nuqson muhandisligi grafenda vodorod saqlashni yaxshilashini tasdiqlaydi.

**Minnatdorchilik.** Modellashtirishlar Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti qoshidagi “Fizik jarayonlarni modellashtirish” ilmiy laboratoriyasida joylashgan yuqori unumdor hisoblash kompyuterlarida amalga oshirildi.

**Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:**

[1]. J.O. Abe et al., Hydrogen energy, economy and storage. Review and recommendation, International Journal of Hydrogen Energy 44, 15072 (2019).

[2]. Y.-P. Chen S. Bashir, and J.L. Liu, editors , Nanostructured Materials for Next-Generation Energy Storage and Conversion: Hydrogen Production, Storage, and Utilization (Springer, Berlin, Heidelberg, 2017).

[3]. J.G M,S. Iniyan et al., A review of wind energy technologies. Renew Sustain Energy Rev, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 1117 (2007).

[4]. I.A.Baburin et al., Hydrogen adsorption by perforated graphene, International Journal of Hydrogen Energy 40, 6594 (2015).

[5]. B.J.Alder and T.E.Wainwright, Phase Transition for a Hard Sphere System, The Journal of Chemical Physics 27, 1208 (1957).

[6]. S.I.Kundalwal and V. Choyal, Transversely isotropic elastic properties of carbon nanotubes containing vacancy defects using MD, Acta Mech 229, 2571 (2018).

[7]. U.Uljayev et al., Boron interaction with double-walled carbon nanotubes across temperature ranges, Mod. Electron. Mater. 10, 3 (2024).

**O‘rolov O‘tkir Abdunazar o‘g‘li (Toshkent Kimyo-texnologiya instituti tayanch doktoranti; legolas08101993@mail.com),**
**Choriyev Mirjalol (Toshkent kimyo-texnologiya instituti “Oliy matematika” kafedrasi (PhD) katta o‘qituvchisi; choriyevm56@gmail.com),**
**Mirzaqobilov Bekzod Norqo‘ziyevich (Toshkent Kimyo-texnologiya instituti PhD katta o‘qituvchisi; bmirzakabilov@inbox.ru)**

## IKKI QATLAMLI QOVUSHQOQ-ELASTIK PLASTINKALARNING DINAMIK ZARBA YUKLAMALARIGA JAVOBI: ENERGIYA DISSIPATSIYASINI OPTIMALLASHTIRISH

***Annotatsiya.*** *Ushbu tadqiqot aluminiy va qovushqoq-elastik polimerdan iborat sendvich panellarning dinamik yuklanish sharoitidagi tebranishlarni so‘ndirish xususiyatlarini o‘rganishga bag‘ishlangan. Ishning maqsadi qatlamlar qalinligi nisbatining konstruktsiyaning dinamik javobiga ta’sirini tahlil qilishdir. Abaqus/Explicit dasturiy muhitida olib borilgan raqamli modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatdiki, alyuminiy qatlamining qalinligi 2.0 mm.dan 8.0 mm gacha oshirilganda, maksimal Mises kuchlanishi 583.21 MPa dan 348.79 MPa gacha pasaygan. Biroq, polimer qatlamining qisqarishi Qovushqoq-elastik energiya dissipatsiyasini 199.06 J dan 34.87 J gacha sezilarli darajada kamaytirdi. Tadqiqot natijalari mustahkamlik va tebranishlarni so‘ndirish samaradorligi o‘rtasidagi muvozanatni optimallashtirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar beradi.*

***Kalit so‘zlar:*** *sendvich panellar, qovushqoq-elastik qatlam, tebranishlarni so‘ndirish, dinamik javob, chekli elementlar usuli.*

## ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССИВНОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ ВИБРАЦИЙ В СЕНДВИЧ-ПАНЕЛЯХ: ДИНАМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК НА СИЛОВЫЕ НАГРУЗКИ ДВУХСЛОЙНОГО ЭЛАСТИЧНОГО ПЛАСТИКА

***Аннотация.*** *Данное исследование посвящено изучению характеристик пассивного демпфирования вибраций в сэндвич-панелях, состоящих из слоев алюминия и вязкоупругого полимера, в условиях динамической нагрузки. Основная цель – анализ влияния соотношения толщин слоев на динамический отклик конструкции. Численное моделирование, выполненное в среде Abaqus/Explicit, показало, что увеличение толщины алюминиевого слоя с 2.0 мм до 8.0 мм приводит к снижению максимального напряжения по Мизесу с 583.21 МПа до 348.79 МПа. Однако уменьшение толщины*

*вязкоупругого слоя привело к значительному снижению рассеяния энергии с 199.06 Дж до 34.87 Дж. Результаты исследования предоставляют практические рекомендации по оптимизации баланса между структурной жесткостью и эффективностью гашения вибраций.*

***Ключевые слова:*** *сэндвич-панели, вязкоупругий слой, демпфирование вибраций, динамический отклик, метод конечных элементов.*

**STUDY OF PASSIVE VIBRATION DAMPING CHARACTERISTICS IN SANDWICH PANELS: DYNAMIC RESPONSE TO FORCE LOADS OF TWO-LAYER ELASTIC PLASTIC**

***Annotation.*** *This research focuses on the passive vibration damping characteristics of sandwich panels composed of aluminum and viscoelastic polymer layers under dynamic loading. The primary objective is to analyze the influence of layer thickness ratios on the structural dynamic response. Numerical simulations performed using the Abaqus/Explicit environment reveal that increasing the aluminum layer thickness from 2.0 mm to 8.0 mm resulted in a reduction of maximum Mises stress from 583.21 MPa to 348.79 MPa. Conversely, reducing the viscoelastic layer thickness led to a significant decrease in viscous energy dissipation from 199.06 J to 34.87 J. The findings provide practical guidelines for optimizing the trade-off between structural rigidity and vibration mitigation efficiency.*

***Keywords:*** *Sandwich panels, viscoelastic layer, vibration damping, dynamic response, finite element analysis.*

**Kirish**. Zamonaviy mashinasozlik, aerokosmik sanoat va infratuzilma loyihalarida dinamik yuklanishlar ta'sirida yuzaga keladigan tebranishlar konstruktsiyalarning muddatidan avval charchashiga va ishdan chiqishiga olib keladigan asosiy omillardan biri hisoblanadi [1]. Ushbu muammoni hal qilishning eng samarali yo'llaridan biri yuqori bikrlikka ega bo'lgan metall (aluminiy) va tebranish energiyasini yutuvchi qovushqoq-elastik polimer qatlamlaridan tashkil topgan ikki qatlamli kompozit plastinkalardan foydalanishdir [2]. Qovushqoq-elastik qatlam mexanik tebranish energiyasini materiallar tutashuv chegarasidagi ichki ishqalanish orqali issiqlik energiyasiga aylantirib, tizimning tebranish amplitudalarini passiv usulda so'ndirish (dissipatsiya qilish) vazifasini bajaradi [3]. Bunday konstruksiyaviy yechimlar tizimning umumiy massasini nazorat qilgan holda, uning chidamliligi va ishonchliligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Ikki qatlamli kompozit plastinkalarning dinamik xatti-harakatlari va tebranishlarni so'ndirish xususiyatlari ko'plab tadqiqotchilar tomonidan o'rganilgan. Xususan, bu boradagi fundamental nazariyalar Kerwin [4] hamda Mead va Markus [5] kabi olimlarning ishlarida shakllantirilgan bo'lib, ular qovushqoq-elastik materialning tebranish energiyasini yutishdagi fizik mohiyatini asoslab berishgan. Keyinchalik, raqamli hisoblash usullari (chekli elementlar tahlili) rivojlanishi bilan, Kumar va uning hammualliflari [6] turli qalinlikdagi va har xil chegaraviy shartlardagi ikki qatlamli panellarning rezonans holatlarini tahlil qilishdi. Shuningdek, so'nggi yillarda Zhang va boshqalar [7] qovushqoq-elastik qatlamli tuzilmalarning mexanik energiyani tarqatish xususiyatlarini eksperimental hamda sonli usullar bilan chuqur o'rganishdi. Bundan tashqari, ushbu sohada Sun [8] va Wang [9] tomonidan olib borilgan izlanishlar qatlamlararo bog'lanishning dinamik javobga ta'sirini tahlil qilishda yangi yondashuvlarni taqdim etdi. Biroq ushbu izlanishlarning aksariyatida qatlamlar qalinligi nisbatining o'zgarishi konstruktsiyaning umumiy bikrligiga va tebranishlarni so'ndirish samaradorligiga bevosita qanday ta'sir ko'rsatishi to'liq ochib berilmagan.

Mazkur tadqiqotning asosiy muammosi quyidagi jismoniy qarama-qarshilikdan iborat: aluminiy qatlamining qalinligini oshirish konstruksiyaning mexanik bikrligini va yuk ko'tarish qobiliyatini sezilarli darajada oshiradi, lekin, ayni vaqtda, tebranishlarni yutuvchi qovushqoq-elastik polimer qatlamining nisbiy hajmi kamayadi. Bu esa tizimning kinetik energiyani tarqatish va tebranishlarni so'ndirish qobiliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Natijada konstruktorlar qatlamlar o'lchamini qay tarzda loyihalashlari kerakki, optimal so'ndirish xususiyati hamda yetarli darajadagi mexanik bikrlik bir vaqtning o'zida ta'minlansin, degan masala yuzaga keladi.

Ushbu tadqiqot ikki qatlamli materiallarda qalinliklar nisbatining o'zgarishi natijasida kelib chiqadigan aynan mana shu optimal muvozanatni raqamli tahlil qilishga bag'ishlangan. Taklif etilayotgan yondashuv sanoat uskunalarini va mexanik qismlarni dinamik yuklanishlar hamda tebranishlardan himoya qilish bo'yicha ilmiy asoslangan muhandislik qarorlarini qabul qilishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

**Metodologiya, geometrik model va chegaraviy shartlar.** Tadqiqotda $400 \times 400$ mm o'lchamdagi ikki qatlamli (alyuminiy va qovushqoq-elastik polimer) kompozit plastinka modeli qo'llanildi. Tashqi aluminiy qatlami qalinligi $t_{Al}$ parametriga ko'ra 2.0 mm dan 8.0 mm.gacha o'zgartirildi, polimer qatlami esa,

mos ravishda, 8.0 mm.dan 2.0 mm.gacha qilib belgilandi. Plastinkaning barcha chekka qirralari mahkamlangan (qotirilgan) deb hisoblanib, uning geometrik markaziga dinamik kuch ta'sir ettirildi.

**Material xossalari.** Hisoblashlar uchun alyuminiy qatlamining elastik-plastik xossalari standart texnik xususiyatlar asosida kiritildi: zichlik $\rho_{Al} = 2700\text{kg/m}^3$, elastiklik moduli $E_{Al} = 70\text{GPa}$ va Puasson koeffitsiyenti $\nu = 0.33$. Qovushqoq-elastik polimer qatlami uchun esa uning tebranish energiyasini yutish xususiyatlarini ifodalovchi dinamik parametrlar qo'llanildi. Ushbu qatlam uchun zichlik $\rho_p = 1200\text{kg/m}^3$ va materialning vaqtga bog'liq qovushqoq-elastik xususiyatlari (viscous damping properties) hisobga olindi.

**Raqamli modellashtirish jarayoni.** Sonli tahlillar Abaqus/Explicit dasturiy muhiti yordamida amalga oshirildi [6,9]. Dinamik jarayonning yuqori tezlikdagi o'zgarishlarini kuzatish uchun "Dynamic, Explicit" tahlil usuli tanlandi. Modelning chekli elementlar to'ri (mesh) 8 tugunli g'ovak elementlar asosida qurildi, bu esa kuchlanish konsentratsiyasini va qatlamlararo deformatsiyani yuqori aniqlik bilan hisoblash imkonini beradi.

Har bir simulatsiya jarayonida tizimning rezonans holati, Mises kuchlanishi (Mises stress), siljish amplitudasi ($U_3$) va qovushqoq-elastik energiya dissipatsiyasi (ALLVD) kabi muhim ko'rsatkichlar qayd etildi. Olingan natijalar keyinchalik tahlil qilish uchun CSV formatidagi ma'lumotlar fayllariga eksport qilindi.

**Natijalar va muhokama.** Ushbu tadqiqot doirasida aluminiy va qovushqoq-elastik polimer qatlamlarining qalinlik nisbatlari o'zgarishi natijasida konstruksiyaning dinamik javobi (dynamic response) tahlil qilindi. Olingan asosiy sonli ko'rsatkichlar 1-jadvalda keltirilgan.

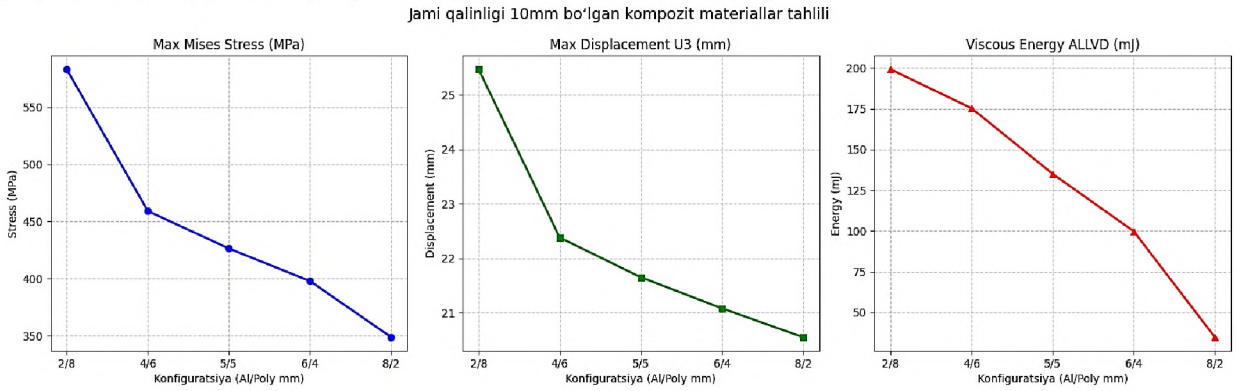
***1-jadval***

**Turli qalinlik nisbatlaridagi dinamik xarakteristikalar**

| Konfiguratsiya (Al/ polimer, mm) | Maksimal Mises kuchlanishi (MPa) | Maksimal siljish ($U3$, mm) | Qovushqoq-elastik energiya yutilishi (J) |
|---|---|---|---|
| 2.0 / 8.0 | 583.21 | 25.48 | 199.06 |
| 5.0 / 5.0 | 426.36 | 21.66 | 134.99 |
| 8.0 / 2.0 | 348.79 | 20.55 | 34.87 |

**Natijalarni tahlil qilish.** Sonli modellashtirish natijalari shuni ko'rsatdiki, alyuminiy qatlamining qalinligi oshishi bilan konstruktsiyaning umumiy bikrligi tizimli ravishda ortadi. Jumladan, alyuminiy qatlamini 2.0 mm.dan 8.0 mm.gacha oshirish maksimal Mises kuchlanishini 583.21 MPa.dan 348.79 MPa gacha, ya'ni sezilarli darajada pasaytirdi. Bu holat metall qatlamning tashqi dinamik yuklanishga qarshilik ko'rsatish qobiliyati yuqoriligi bilan izohlanadi [6,9].

Biroq qovushqoq-elastik polimer qatlamining qalinligi kamayishi bilan bir vaqtda, energiya dissipatsiyasi (tebranish energiyasini yutish) ko'rsatkichi keskin tushib ketganligi kuzatildi. Polimer qatlami 8.0 mm.dan 2.0 mm.gacha qisqarganda, energiya yutilishi 199.06 J.dan 34.87 J.gacha kamaydi. Bu shuni anglatadiki, polimer hajmining qisqarishi konstruksiyaning tebranishlarni so'ndirish qobiliyatini deyarli 80%ga zaiflashtiradi. Bu natijalar oldingi tadqiqotlarda [7,8] keltirilgan qovushqoq-elastik materiallarning energiya yutish xususiyatlari haqidagi nazariy xulosalar bilan hamohangdir.

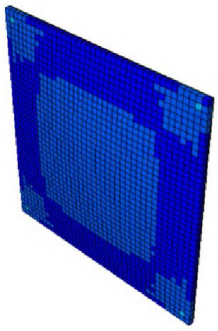
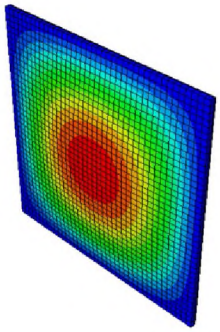
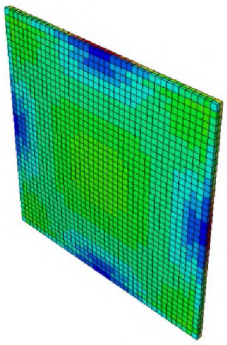
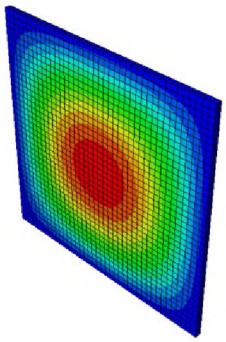
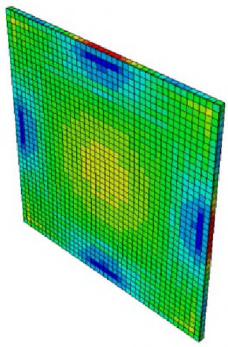
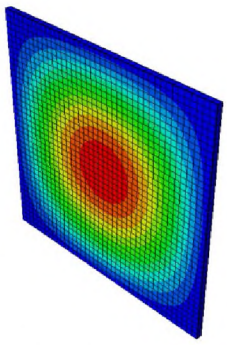


Rasmda keltirilgan grafiklar alyuminiy qalinligining oshishi (2.0 mm.dan 8.0 mm.gacha) bilan bog‘liq o‘zgarishlarning dinamikasini yaqqol ko‘rsatib beradi. Xususan, Mises kuchlanishi chiziqli kamayish tendensiyasiga ega bo‘lsa-da, energiya yutilishi ko‘rsatkichining polimer qalinligiga bo‘lgan bog‘liqligi yanada keskinroq ekanligi kuzatiladi.

**Kompozit materiallarning turli qalinlik nisbatlaridagi dinamik xarakteristikalari tahlili.** Ushbu qonuniyatlarning vizual tasdig‘i va turli konfiguratsiyalardagi kuchlanish hamda siljish taqsimoti 2-jadvalda keltirilgan.

*2-jadval*

**Turli qalinlik nisbatlari uchun kuchlanish va siljish natijalarini qiyosiy tahlili**

| **Konfiguratsiya (Al / Poly, mm)** | **Mises kuchlanishi taqsimoti** | **Ko‘cchish amplitudasi (U, Magnitude)** |
|---|---|---|
| **Al 2.0 / Poly 8.0** |  |  |
| **Al 5.0 / Poly 5.0** |  |  |
| **Al 8.0 / Poly 2.0** |  |  |

**Turli qalinlik nisbatlaridagi kompozit plastinkalarning Mises kuchlanishi va siljish amplitudasi bo‘yicha qiyosiy tahlili.** Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, Al 5.0 /polimer 5.0 konfiguratsiyasi mustahkamlik va tebranishlarni so‘ndirish xususiyatlari o‘rtasidagi eng optimal (muvozanatli) variant hisoblanadi. Bunda kuchlanish qiymatlari (426.36 MPa) nisbatan maqbul darajada saqlanib, energiya yutilishi (134.99 J) esa yuqori samaradorlikni namoyon etadi. Ushbu ma’lumotlar sanoatda ishlatiladigan ikki qatlamli detallarni loyihalashda metall va polimer nisbatini tanlash bo‘yicha aniq ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi va muhandislik qarorlarini qabul qilishda qo‘llanilishi mumkin.

**Xulosa.** Ushbu tadqiqot doirasida alyuminiy va qovushqoq-elastik polimer qatlamlaridan tashkil topgan ikki qatlamli kompozit plastinkalarning dinamik xususiyatlari chekli elementlar usuli (Finite Element Analysis) yordamida tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari metall va qovushqoq-elastik qatlamlar qalinligining o'zaro nisbati konstruktsiyaning umumiy bikrligi va energiya yutish samaradorligiga bevosita ta'sir qilishini isbotladi.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, aluminiy qatlamining qalinlashishi maksimal Mises kuchlanishlarini pasaytirib, konstruksiyaning bikrligini oshiradi, biroq bu jarayon polimer qatlamining hajmini kamaytirish evaziga tebranishlarni so'ndirish qobiliyatini sezilarli darajada susaytiradi. Xususan, polimer qatlamining 8.0 mm.dan 2.0 mm.gacha kamayishi energiya yutilish samaradorligini 80%ga pasaytirishi aniqlandi.

Olingan natijalar asosida Al 5.0/Poly 5.0 konfiguratsiyasi kuchlanishga chidamlilik va tebranishlarni so'ndirish qobiliyati o'rtasidagi eng maqbul (optimal) muvozanatni ta'minlashi aniqlandi. Ushbu model muhandislik nuqtayi nazaridan samarali va tejamkor yechim sifatida tavsiya etiladi. Ushbu tadqiqot natijalari sanoatda qo'llaniladigan kompozit konstruktsiyalarni loyihalashda metall va qovushqoq-elastik materiallarning optimal nisbatini tanlash bo'yicha muhim ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

**Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:**


(1). Rao S.S. (2019). Mechanical Vibrations. Pearson.

(2). Lazaro M., et al. (2021). Dynamic response of bilayer composite structures. Journal of Applied Mechanics.

(3). Nashif A.D., et al. (1985). Vibration Damping. Wiley-Interscience.

(4). Kerwin E.M. (1959). Damping of flexural waves by a constrained viscoelastic layer. Journal of the Acoustical Society of America.

(5). Mead D.J., Markus S. (1969). The forced vibration of a three-layer damped sandwich beam. Journal of Sound and Vibration.

(6). Kumar R., et al. (2015). Finite element analysis of viscoelastic-layered plates. Composite Structures.

(7). Zhang Y., et al. (2022). Energy dissipation mechanisms in bilayer composite plates. International Journal of Solids and Structures.

(8). Sun C.T., et al. (2020). Optimization of damping layers in composite structures. Composite Part B: Engineering.

(9). Wang X., et al. (2024). Structural stiffness vs. damping trade-off in multilayer composites. Thin-Walled Structures.



**Tillaboyeva Nargizaxon Shukurxon qizi (O'zbekiston Milliy universiteti magistranti; e-mail: nargizatillabaeva1810@gmail.com)**


## TO'RTLAMCHI DAVR YOTQIZIQLARINING GEOFIZIK SIGNAL SHAKLLANISHIGA TA'SIRI


***Annotatsiya.*** *Mazkur maqolada Surxondaryo hududidagi to'rtlamchi davr yotqiziqlarining geofizik signal shakllanishiga ta'siri nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Lyoss, alluvial va paleosol qatlamlarning fizik xossalari magnit maydon, elektromagnit to'lqinlar hamda elektr qarshilik maydonlarining shakllanish mexanizmi bilan bog'liq holda baholanadi. Geologik muhit parametrlarining magnit kontrast, elektromagnit so'nish va dielektrik doimiylikka ta'siri ilmiy asosda yoritiladi. Shuningdek, hududiy sharoitda geofizik usullar samaradorligini baholash mezonlari taklif etiladi.*



***Kalit so'zlar:*** *to'rtlamchi davr, lyoss yotqiziqlari, alluvial qatlam, paleosol, geofizik signal, magnit maydon, elektromagnit to'lqin, elektr qarshilik, dielektrik doimiylik.*


## ВЛИЯНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО


***Аннотация.*** *В статье теоретически анализируется влияние четвертичных отложений Сурхандарьинского региона на формирование геофизического сигнала. Физические свойства лёссовых, аллювиальных и палеопочвенных слоев рассматриваются во взаимосвязи с механизмами формирования магнитного поля, электромагнитных волн и электрического сопротивления. Обосновано влияние геологических параметров на магнитный контраст, электромагнитное затухание и диэлектрическую проницаемость. Предложены критерии оценки эффективности геофизических методов в региональных условиях.*



***Ключевые слова:*** *четвертичный период, лёссовые отложения, аллювиальные слои, палеопочва, геофизический сигнал, магнитное поле, электромагнитная волна, электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость.*