

**OROL DENGIZI TUBINING TIKLANISHINI EKOLOGIK MONITORING QILISH UCHUN ENERGIYA TEJAMKOR UZOQ MASOFALI SENSOR**

**TARMOQLARI (LORAWAN)NI QO‘LLASH**

***Absametov Bayram Bekbosinovich,***

*Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti assistenti*

*E-mail: [b.absametov@gmail.com](mailto:b.absametov@gmail.com)*

*<https://orcid.org/0009-0009-4062-6917>*

***Kalbayev Allambergen Markabayevich,***

*Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti assistenti*

*E-mail: [allambergenkalbayev1@gmail.com](mailto:allambergenkalbayev1@gmail.com)*

*<https://orcid.org/0009-0007-0903-0643>*

***Qudaynazarov Muhammed Sadiq uli,***

*Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti assistenti*

*E-mail: [m.qudaynazarov@gmail.com](mailto:m.qudaynazarov@gmail.com)*

*<https://orcid.org/0000-0003-4619-7729>*

***Dauletbaev Miyirbek Paraxat uli***

*Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti talabasi*

*E-mail: [dauletbaevmiyirbek@gmail.com](mailto:dauletbaevmiyirbek@gmail.com)*

*<https://orcid.org/0009-0006-3983-8988>*

*Nukus, Uzbekistan*

**<https://doi.org/10.5281/zenodo.19429594>**

**Annotatsiya:** Ushbu tezisdagi Orol dengizining qurigan tubida ekologik monitoringni tashkil etish uchun LoRaWAN texnologiyasiga asoslangan energiya samarador simsiz sensor tarmog‘ini qo‘llash masalasi ko‘rib chiqiladi. Arid iqlim, yuqori sho‘r lanish va chang bo‘ronlari sharoitida uzoq masofaga kam quvvat bilan ma‘lumot uzatish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari LoRaWAN asosidagi yechimlar ekologik ko‘rsatkichlarni uzluksiz kuzatish, rekultivatsiya jarayonlarini nazorat qilish va hududiy monitoring tizimlarini rivojlantirishda samarali ekanini ko‘rsatadi.

**Kalit so‘zlar:** Orol dengizi, ekologik monitoring, LoRaWAN, energiya samaradorligi, simsiz sensorli tarmoqlar, arid iqlim, LPWAN, tuproq sho‘r lanishi, innovatsion texnologiyalar, ma‘lumotlarni masofadan uzatish.

**Abstract:** This thesis considers the use of energy-efficient wireless sensor networks based on LoRaWAN technology for environmental monitoring of the dried bed of the Aral Sea. It is shown

**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

*that under arid climate conditions, high salinity, and dust storms, such networks can provide reliable long-range data transmission with low power consumption. The results confirm the potential of LoRaWAN solutions for continuous ecological monitoring and for supporting restoration activities in the region.*

**Keywords:** *Aral Sea, environmental monitoring, LoRaWAN, energy efficiency, wireless sensor networks, arid climate, LPWAN, soil salinity, innovative technologies, remote data transmission.*

**Аннотация.** *В тезисе рассматривается применение энергоэффективных беспроводных сенсорных сетей на основе технологии LoRaWAN для экологического мониторинга высохшего дна Аральского моря. Показано, что в условиях аридного климата, высокой засоленности и пыльных бурь такие сети обеспечивают надёжную передачу данных на большие расстояния при низком энергопотреблении. Полученные результаты подтверждают перспективность использования LoRaWAN для непрерывного контроля экологических параметров и научного сопровождения работ по восстановлению территории.*

**Ключевые слова:** *Аральское море, экологический мониторинг, LoRaWAN, энергоэффективность, беспроводные сенсорные сети, аридный климат, LPWAN, засоление почв, инновационные технологии, дистанционная передача данных.*

Orolbo‘yi hududidagi ekologik vaziyat Orol dengizining qurigan tubidagi tuproq holati, namlik, harorat va sho‘rlanish dinamikasi haqida muntazam ravishda ishonchli ma’lumotlarni olishni talab qiladi. Bunday hududlarda an’anaviy ekspeditsion monitoring yuqori xarajatlar, uchastkalarining borish qiyinligi va uzluksiz kuzatuvning imkonsizligi bilan bog‘liq. Ushbu sharoitda LPWAN texnologiyalari, xususan LoRaWAN, avtonom taqsimlangan ekologik monitoring tizimini qurish asosi sifatida amaliy qiziqish uyg‘otadi [2, 5]. Tезisning maqsadi Orolqum hududida ekologik ko‘rsatkichlarni uzoq muddatli nazorat qilish uchun energiya tejамkor LoRaWAN tarmog‘ini qo‘llashni asoslashdan iborat.

Orol dengizining qurigan tubi keskin kontinental iqlim, yuqori darajadagi sho‘rlanish, chang-tuz bo‘ronlari va transport qatnovi qiyinligi bilan ajralib turadi. Ushbu omillar monitoring vositalari oldiga o‘ziga xos talablarni qo‘yadi: uskunalar kam energiya iste‘mol qilishi, harorat o‘zgarishlariga chidamli bo‘lishi, chang va korroziyadan himoyalangan bo‘lishi, shuningdek, rivojlangan telekommunikatsiya infratuzilmasi mavjud bo‘lmagan sharoitda ma’lumotlarni uzoq masofalarga uzatish imkoniyatiga ega bo‘lishi lozim [2, 5].

**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to’plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

Ushbu vazifani hal qilish uchun "yulduzlar yulduzi" (star of stars) topologiyasiga ega LoRaWAN bazasidagi simsiz sensorli tarmoqdan foydalanish taklif etiladi. Sensorli tugunlar tuproq namligi, harorati, elektr o'tkazuvchanligi va degradatsiyaga uchragan yerlarning qayta tiklanish jarayonlarini xarakterlovchi boshqa parametrlarni o'lchashi mumkin. Ma'lumotlarni uzatish shlyuzlar orqali markaziy serverga amalga oshiriladi, u yerda telemetriya ma'lumotlarini to'plash, vizuallashtirish va keyingi tahliliy ishlar bajariladi [4].

LoRaWAN texnologiyasining afzalligi — aloqa masofasining uzoqligi va energiya iste'molining pastligi uyg'unligidadir. "Chuqur uyqu" (deep sleep) rejimi, ma'lumotlarni uzatishning moslashuvchan tezligi (ADR) va spektrni kengaytirish koeffitsiyentini (SF) tanlash hisobiga tarmoq uzoq vaqt davomida avtonom tarzda ishlashi mumkin. Parametrik modellashtirish natijalari shuni tasdiqlaydiki, LoRaWAN texnologiyasi Orolqum sharoitida ma'lumotlarning barqaror va energiya tejamkor uzatilishini ta'minlaydi, bu esa uni keng hududlarda taqsimlangan ekologik monitoringni tashkil etish uchun istiqbolli yechimga aylantiradi [1, 3, 4].

Mintaqaning ekstremal sharoitlarida tarmoqdan foydalanish uchun muhandislik choralari majmuasi zarur: IP67 darajasidan kam bo'lmagan germetik korpuslar, kontaktlarning korroziyaga qarshi himoyasi, aloqa kanallarini rezervlash, ma'lumotlarni lokal buferlash hamda litiyli batareya va quyosh paneli asosidagi gibrud quvvat manbaidan foydalanish. Tugun tomonida ma'lumotlarga qo'shimcha ishlov berish barcha o'lchovlar oqimini emas, balki faqat o'rtacha qiymatlarni yoki kritik og'ishlar bilan bog'liq hodisalarni uzatish imkonini beradi, bu esa tarmoqqa tushadigan yuklamani yanada kamaytiradi va avtonom tugunlarning xizmat qilish muddatini oshiradi.

Orolqum sharoitida LoRaWAN tarmog'ining barqarorligini baholash uchun 868 MGts ishchi chastotasi, sensorli tugun va shlyuz o'rtasidagi masofa, shuningdek, SF7 va SF12 uzatish rejimlari hisobga olingan holda aloqa kanalining parametrik modellashtirilishi bajarildi. SF7 rejimi tezroq va energiya tejamkor uzatishga yo'naltirilgan bo'lsa, SF12 rejimi aloqa masofasini va barqarorligini oshirishga qaratilgan. Modellashtirish natijalari shuni ko'rsatdiki, SF12 dan foydalanilganda qabul qiluvchining sezgirligi ortadi va aloqa masofasi 12 km gacha kengayadi, biroq bitta paketni uzatish uchun energiya sarfi ko'payadi. 1 km<sup>2</sup> maydonda 5 tagacha tugun joylashtirilganda, paketlarning muvaffaqiyatli yetkazib berilish ehtimoli 98,2 % ni tashkil etadi, bu esa Orol dengizining qurigan tubida taqsimlangan ekologik monitoring uchun LoRaWAN texnologiyasining qo'llanilishi maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi [1, 3].

*1-jadval. LoRaWAN aloqa kanalining parametrik modellashtirish natijalari*

<b>Ko'rsatkichlar</b>	<b>SF7</b>	<b>SF12</b>
-----------------------	------------	-------------

**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

Uzatish tezligi, bit/s	5470	250
Qabul qiluvchining sezgirligi, dBm	-123	-137
Bitta paket uchun energiya sarfi, mAs	12	145
Maksimal aloqa masofasi, km	2,5	12,0
Kolliziyalarga (to‘qnashuvlarga) chidamliligi	past	yuqori

Taklif etilayotgan yondashuvning amaliy ahamiyati vaqti-vaqti bilan o‘tkaziladigan dala tadqiqotlaridan uzluksiz raqamli monitoringga o‘tish imkoniyatidadir. Olingan ma’lumotlardan saksovul va boshqa galofitlarning (sho‘rga chidamli o‘simliklar) yashab ketish sharoitlarini baholash, rekultivatsiya (yerlarni qayta tiklash) maydonlarini tanlash, sho‘rlanish dinamikasini nazorat qilish hamda ekotizimni tiklashning keyingi tahliliy modellarini qurishda foydalanish mumkin.

Shunday qilib, Orol dengizining qurigan tubida ekologik monitoringni amalga oshirish uchun energiya tejamkor LoRaWAN tarmoqlarini qo‘llash asoslangan va istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi. Taklif etilayotgan arxitektura uzoq muddatli avtonom ishlashni, yetarli aloqa masofasini va Orolbo‘yining og‘ir tabiiy-iqlim sharoitlariga moslashuvni ta’minlaydi. Bunday tizimlarning joriy etilishi rekultivatsiya tadbirlarini ilmiy asoslangan holda boshqarish va mintaqada ekologik monitoringning zamonaviy raqamli infratuzilmasini rivojlantirish uchun texnologik asos yaratadi.

**Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:**

1. Kanwal T., Rehman S. U., Imran A., Mahmoud H. A. Energy-Efficient Internet of Things-Based Wireless Sensor Network for Autonomous Data Validation for Environmental Monitoring // Computer Systems Science and Engineering. 2025. Vol. 49, No. 1. P. 185–212. DOI: 10.32604/csse.2024.056535.
2. UBS Scientific Bulletin – Научный вестник UBS – UBS Ilmiy Axborotnomasi. 2023. № 1. ISSN: 2181-1460.
3. Bhattacharya M. A Survey on Importance of Routing Protocol in WSN // Journal of Contemporary Issues in Business and Government. 2020. Выходные данные требуют уточнения.

**“Yosh tadqiqotchilar va talabalar ilmiy faoliyatida innovatsiya, integratsiya va zamonaviy ta’lim muammolari: nazariya va amaliyot” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. I son (2026-yil, 1-aprel)**

4. Bostani A., Shavkatov N., Sathishkumar K., Kamalaveni A., Syedzagiriya S., Rahman A. M. J. Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Smart Healthcare Monitoring and Predictive Analytics // National Journal of Antennas and Propagation. 2025. Vol. 7, No. 1. P. 235–252. DOI: 10.31838/NJAP/07.01.27.

5. Zhao H., et al. A LoRaWAN-based environmental sensing network for monitoring soil moisture dynamics across urban green spaces // Sustainable Cities and Society. 2024.