

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
KAZAKHSTAN



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION  
TECHNOLOGIES**

Published since 2020.  
Volume 7. 1 (25). 2026  
January–March

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады  
Том 7. 1 (25). 2026  
Қаңтар-Наурыз

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И  
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.  
Том 7. 1 (25). 2026  
Январь-Март

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Зарегистрировано в Международном центре регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, Париж, Франция). ISSN 2708–2032 (print), ISSN 2708–2040 (online)

Журнал входит в Перечень научных изданий, рекомендуемых КОКНВО МНВО РК для публикации основных результатов научной деятельности.

#### EDITOR-IN-CHIEF:

**Kateryna Kolesnikova** — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

#### DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

**Madina Ipalakova** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

#### EDITORIAL BOARD:

**Abdul Razak** — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Lucio Tommaso De Paolis** — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

**Liz Bacon** — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

**Michele Pagano** — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

**Mukhtarbay Otelbayev** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Bolatbek Rysbauly** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

**Yevgeniya Daineko** — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Nurzhan Duzbayev** — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Bakhtgerci Sinchev** — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Nurgul Seilova** — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Ardak Mukhamediyeva** — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Zamira Abdikalikova** — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Yerlan Shildibekov** — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Damilya Yeskendirova** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Aigul Niyazgulova** — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Altai Aitmagambetov** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Yelena Bakhtiyarova** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Kanibek Sansyzbay** — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Sakhybay Tynymbayev** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Ali Abd Almisreb** — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Mohamed Ahmed Hamada** — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

**Yang Im Chu** — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

**Tadeusz Wallas** — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

**Orken Mamyrbayev** — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

**Sergey Bushuyev** — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association "UKRNET," Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

**Svetlana Beloshitskaya** — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

#### MANAGING EDITOR

**Raushan Mrzabayeva** — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

---

International Journal of Information and Communication Technologies

Periodicity: 4 times a year.

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.54309

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

Thematic focus: "Information technology"; "Digital technologies in the development of socio-economic systems"; "Information security and communication technologies".

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

Copyright: © International Journal of Information and Communication Technologies, 2026

---

РЕДАКЦИЯ

**БАС РЕДАКТОР:**

**Колесникова Катерина Викторовна** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

**БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:**

**Ипалакова Мадина Тулегеновна** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

**РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:**

- Разак Абдул** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Луччо Томмазо де Паолис** — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры  
**Лиз Бэкон** — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары  
**Микеле Пагано** — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры  
**Өтелбаев Мухтарбай Өтелбайұлы** — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Рысбайұлы Болатбек** — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)  
**Дайнеко Евгения Александровна** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)  
**Дузаев Нуржан Токсулжаевич** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)  
**Синчев Бахтгерей Куспанович** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Сейлова Нургуль Абдуллаевна** — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)  
**Мухамедиева Ардак Габитовна** — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)  
**Абдикаликова Замира Турсынбаевна** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Шильдибеков Ерлан Жаржанович** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Дамелия Максустовна Ескендрова** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Ниязгулова Айгуль Аскарбековна** — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Айтмағамбетов Алтай Зуфарович** — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)  
**Бахтиярова Елена Ажибековна** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)  
**Канибек Сансызбай** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)  
**Тынымбаев Сахибай** — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)  
**Алмисреб Али Абд** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)  
**Мохамед Ахмед Хамада** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)  
**Янг Им Чу** — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)  
**Талеуш Валлас** — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры  
**Мамырбаев Оркен Жумажанович** — PhD, ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)  
**Бушув Сергей Дмитриевич** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)  
**Белюшицкая Светлана Васильевна** — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

**ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:**

**Мрзабаева Раушан Жалиевна** — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

Тақырып бағыты: "Ақпараттық технологиялар"; "Ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар"; "Әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология".

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Авторлық құқық: © Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы, 2026

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

**Колесникова Катерина Викторовна** — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

**Ипалакова Мадина Тулегеновна** — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Разак Абдул** — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Лучио Томмазо де Паолис** — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

**Лиз Бэкон** — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

**Микеле Пагано** — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

**Отелбаев Мухтарбай Отелбайулы** — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Рысбайулы Болатбек** — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

**Дайнеко Евгения Александровна** — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Дузбаев Нуржан Токкужаевич** — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Синчев Бахтгерей Куспанович** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Сейлова Нургуль Абадуллаевна** — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Мухамедиева Ардак Габитовна** — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Абдикаликова Замира Турсынбаевна** — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Шильдибеков Ерлан Жаржанович** — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Дамеля Максютнова Ескендрова** — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Ниязгулова Айгуль Аскарбековна** — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Айтмагамбетов Алтай Зуфарович** — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Бахтиярова Елена Ажибековна** — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Канибек Сансызбай** – PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Тынымбаев Сахпай** – кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Алимуралиев Али Абд** — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Мохамед Ахмед Хамада** — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

**Янг Им Чу** — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

**Тадеуш Валлас** – PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

**Мамырбаев Оркен Жумажанович** — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

**Бушуев Сергей Дмитриевич** — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

**Белошницкая Светлана Васильевна** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

**Мрзабаева Раушан Жалиевна** — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Периодичность: 4 выпусков в год.

Язык издания: казахский, русский, английский.

Тематическая направленность: "Информационные технологии"; "Информационная безопасность и коммуникационные технологии"; "Цифровые технологии в развитии социально-экономических систем".

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Авторские права: © Международный журнал информационных и коммуникационных технологий, 2026

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

**A.B. Zhalgas, Y.N. Kalpakov, B.Ye. Amirgaliyev**  
MACHINE LEARNING-DRIVEN OPTIMIZATION OF LOGISTICS IN SMART CITIES: A CASE STUDY OF ASTANA .....9

**L. Kurmangaziyeva, Sh. Kodanova, M. Urazgaliyeva, O. Findik, S. Iskakova**  
INTEGRATING FUZZY LOGIC AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING BUSINESS PROCESS AUTOMATION DECISIONS .....24

**Y. Mailybayev, U. Adilbayeva, R. Amanova**  
ORGANIZATION OF AN ONLINE SURVEY OF PARTICIPANTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS AND ANALYSIS OF THE RESULTS BASED ON THE MODIFIED DELPHI METHOD .....46

**V.A. Takizhanov, A.Z. Ibragimov, A. Shalakhmetov**  
SIMULATION-BASED ROBUSTNESS ASSESSMENT OF ASTANA'S BUS NETWORK UNDER RANDOM AND TARGETED FAILURES .....61

INFORMATION TECHNOLOGY

**M. Zh. Aitimov, G. K. Muratova, Zh. K. Bissenbayeva, I.M. Bapiyev, M. Kassim**  
SEMANTIC COMPLETENESS IN KAZAKH-LANGUAGE EXTRACTIVE QA THROUGH ONTOLOGY AND RETRIEVAL MECHANISMS .....76

**O.N. Akylbekov, Y.T. Dauletbek, A.N. Moldagulova, G.S. Zakariya, D.A. Gura**  
MACHINE LEARNING METHODS FOR ANALYSING THREE-DIMENSIONAL SPATIAL DATA IN KAZAKHSTAN'S LAND USE PLANNING.....89

**S.Zh. Aliaskarov, R.K. Uskenbayeva, A. Razaque, A.B. Kassymova, A.M. Anartayeva**  
TOWARDS EFFICIENT BIG DATA ANALYTICS IN REGIONAL SYSTEMS: PRACTICAL INSIGHTS FROM HYBRID ARCHITECTURE DEPLOYMENT.....109

**A. Ismailova, G. Yessenbayeva, K. Kadyrkulov, R. Moldasheva, A. Amangeldi**  
DEVELOPMENT OF A HYBRID DEEP LEARNING MODEL FOR MULTICLASS CLASSIFICATION OF MICROSCOPIC IMAGES OF BACTERIA .....128

**G. Kalman, J. Kultan, A.N. Ismukamova, N.M. Ausilova, Y.V. Makhatova**  
A DOMAIN-KNOWLEDGE-BASED MODEL FOR REFERENCE RESOLUTION IN LOW-RESOURCE LANGUAGES .....141

**Y. Kamen, Zh. Yessendauletova, L. Fazylova, M. Rakhimzhanova, A.M. Nedzved**  
USING NEURAL NETWORKS FOR OBJECTIVE ASSESSMENT OF ATTENTION IN CHILDREN BASED ON EEG DATA .....158

**A.Ye. Kulakayeva, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, Sh. Nursultan**  
COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS RADIO WAVE PROPAGATION MODELS FOR MOBILE NETWORK COVERAGE PREDICTION .....173

**M.B. Nurpeissova, Sh.K. Aitkazinova, A.M. Abenov, N.S. Donenbayeva**  
METHODOLOGY FOR TRANSFORMING SATELLITE COORDINATES INTO A TOPOCENTRIC RECTANGULAR COORDINATE SYSTEM .....189

**A. Ospanov, P. Alonso-Jordá, A. Zhumadillayeva**  
BLOCKCHAIN-ENABLED ERP WAREHOUSE INTEGRATION WITH IOT DIMENSIONERS AND MACHINE LEARNING-OPTIMIZED DIMENSIONAL WEIGHT RECONCILIATION .....202

**A.A. Sakhipov, R.B. Seitbek**  
EVENT-DRIVEN MICROSERVICES FOR INCIDENT DETECTION AND RESPONSE IN INTELLIGENT TRAFFIC SYSTEM .....218

**G. Yusupova, K.S. Shadinova, D. Ussipbekova, Zh.Zh. Azhibekova, P. Schmidt**  
DETERMINATION OF SOIL PROFILE STRATIFICATION AT 0–200 CM DEPTH USING A MULTILEVEL STACKING MODEL .....231

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

<b>S.A. Adilzhanova, M.Zh. Sakypbekova, L.Sh. Cherikbaeva, G.A. Tyulepberdinova, G.T. Zhubanysheva</b> SYSTEMATIC ANALYSIS OF RISK ASSESSMENT METHODS AND MODELS IN INFORMATION SECURITY.....	244
<b>T. K. Zhukabayeva, D.B. Baumuratova, E. Benkhelifa, N.A. Niyetbayeva</b> EDGE COMPUTING-BASED TECHNIQUE FOR CONSTRUCTION OF ATTACK DETECTION MEANS IN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS OF INDUSTRIAL INTERNET-OF-THINGS .....	270
<b>N.E. Karabayev, S.K. Serikbayeva, Y.M. Mardenov, B. Tassuov, M. Fajkus</b> DETECTION OF CYBER ATTACKS IN TRANSPORT NETWORKS BASED ON MACHINE LEARNING METHODS .....	292
<b>V.A. Kumalakov, A.O. Dargulova</b> A HYBRID FRAMEWORK FOR RESUME-JOB MATCHING SYSTEM .....	311
<b>V. Makhatova, B. Dzhugembayeva, A. Gabdulova, L. Nurgaliyeva, A. Abdigaliyeva</b> MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMAL SENSOR SELECTION IN SIEM SYSTEMS USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS .....	326

## МАЗМҰНЫ

### ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

<b>А.Б. Жалғас, Е.Н. Калпаков, Б.Е. Амиргалиев</b> АҚЫЛДЫ ҚАЛАЛАРДАҒЫ ЛОГИСТИКАНЫ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ: АСТАНАНЫҢ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ.....	9
<b>Л.Курманғазиева, Ш. Қоданова, М. Уразғалиева, О. Findik, С. Искакова</b> ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ПЕН АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКАНЫ БІРІКТІРУ АРҚЫЛЫ БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ ШЕШІМДЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ .....	24
<b>Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова</b> ҰЙЫМДАСТЫРЫЛҒАН ОНЛАЙН САУАЛНАМА АРҚЫЛЫ БІЛІМ БЕРУ ПРОЦЕСІНЕ ҚАТЫСУШЫЛАРДЫҢ ПІКІРЛЕРІН ЖИНАУ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕРІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ДЕЛЬФИ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ .....	46
<b>В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов</b> МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ АСТАНАНЫҢ АВТОБУС ЖЕЛІСІНІҢ ТҮРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ: КЕЗДЕЙСОҚ ЖӘНЕ МАҚСАТТЫ ІСТЕН ШЫҒУЛАР ЖАҒДАЙЫНДА .....	61

### АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

<b>М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим</b> ОНТОЛОГИЯ ЖӘНЕ ІЗДЕУ МЕХАНИЗМДЕРІ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ҚАДАҒЫ СЕМАНТИКАЛЫҚ ТОЛЫҚТЫҚ .....	76
<b>О.Н. Ақылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура</b> ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУМАҚТЫҚ ЖОСПАРЛАУЫНДАҒЫ ҮШ ӨЛШЕМДІ КЕҢІСТІКТІК МӨЛІМЕТТЕРДІ ТАЛДАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ .....	89
<b>С.Ж. Алиасқаров, Р.К. Ускенбаева, А. Разак, А.Б. Қасымов, А.М. Анартаева</b> АЙМАҚТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ТИІМДІ ТАЛДАУҒА ҚАРАЙ: ГИБРИДТІ АРХИТЕКТУРАНЫ ЕНГІЗУДІҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ТҮСІНІКТЕР.....	109
<b>А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, Қ.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелді</b> РОСКОПИЯЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРІН КӨПКЛАССТЫ ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ .....	128
<b>Г. Қалман, К. Ярослав, А.Н. Исмуканова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова</b> ПӨНДІК САЛА БІЛІМ НЕГІЗІНДЕ РЕУСРСТАРЫ АЗ ТІЛДЕРДЕГІ РЕФЕРЕНЦИЯНЫ ШЕШУДІҢ МОДЕЛІ.....	141
<b>Е.Г. Кәмен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь</b> ЭЭГ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША БАЛАЛАРДЫҢ ЗЕЙІНІН ОБЪЕКТИВТІ БАҒАЛАУ ҮШІН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІ ҚОЛДАНУ .....	158
<b>А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан</b> ҰЯЛЫ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ҚАМТУ АЙМАҒЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ӨРТҮРЛІ РАДИОТОЛҚЫН ТАРАЛУ МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ .....	173

<b>М.Б. Нұрпейісова, Ш.Қ. Айтқазынова, А.М. Абенов, Н.С. Дөненбаева</b> СПУТНИКТИК КООРДИНАТТАРДЫ ТОПОЦЕНТРЛІК ТІК БҰРЫШТЫ КООРДИНАТТАР ЖҮЙЕСІНЕ ТҮРЛЕНДІРУДІҢ ӘДІСТЕМЕСІ .....	189
<b>А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жұмаділлаева</b> БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ЫҚПАЛДАС ERP ҚОЙМА ЖҮЙЕСІН ІОТ ДИМЕНСИОНЕРЛЕР ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ ОПТИМИЗАЦИЯЛАНҒАН ӨЛШЕМДІ САЛМАҚ ЕСЕПТЕУМЕН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ .....	202
<b>А.А. Сахипов, Р.Б. Сейітбек</b> ОҚИҒАҒА БАҒДАРЛАНҒАН МИКРОҚЫЗМЕТТЕР ЖҮЙЕСІ АРҚЫЛЫ АҚЫЛДЫ ТРАФИК ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҚИҒАЛАРДЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ШАРАЛАР ҚОЛДАНУ .....	218
<b>Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, Р. Schmidt</b> ТОПЫРАҚ ПРОФИЛІНІҢ 0–200 СМ ТЕРЕҢДІКТЕГІ СТРАТИФИКАЦИЯСЫН КӨПДЕҢГЕЙЛІ СТЕКИНГ-МОДЕЛІМЕН АНЫҚТАУ.....	231

## **АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН**

<b>С.А. Адилжанова, М.Ж. Сақыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Тюлепбердинова, Г.Т. Жубанышева</b> АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТЕ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ ӘДІСТЕРІ МЕН МОДЕЛЬДЕРІН ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУ.....	244
<b>Т.К. Жукабаева, Д. Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниегбаева</b> ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЗАТТАРДЫҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ИНТЕРНЕТІНІҢ КИБЕРФИЗИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ ҚҰРАЛДАРЫН ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	270
<b>Н.Е. Қарабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус</b> МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КӨЛІК ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ АНЫҚТАУ .....	292
<b>Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова</b> ТҮЙІНДЕМЕЛЕР МЕН ВАКАНСИЯЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ГИБРИДТІ ҮМІТКЕРЛЕРДІ ІРІКТЕУ ЖҮЙЕСІ .....	311
<b>В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нурғалиева, А. Абдигалиева</b> ИЕРАРХИЯЛАРДЫ ТАЛДАУ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ SIEM ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ОҢТАЙЛЫ СЕНСОРДЫ ТАҢДАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ .....	326

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

<b>А.Б. Жалғас, Е.Н. Калпаков, Б.Е. Амиргалиев</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ В УМНЫХ ГОРОДАХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: НА ПРИМЕРЕ АСТАНЫ .....	9
<b>Л. Курмангазиева, Ш. Коданова, М. Уразғалиева, О. Финдик, С. Исакова</b> ИНТЕГРАЦИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ .....	24
<b>Е. Майлыбаев, У. Адилбаева, Р. Аманова</b> СБОР МНЕНИЙ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОСРЕДСТВОМ ОРГАНИЗОВАННОГО ОНЛАЙН-АНКЕТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ДЕЛЬФИ .....	46
<b>В.А. Такижанов, А.Ж. Ибрагимов, А. Шалахметов</b> ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОБУСНОЙ СЕТИ АСТАНЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ОТКАЗАХ .....	61

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>М.Ж. Айтимов, Г.К. Муратова, Ж.К. Бисенбаева, И.М. Бапиев, М. Кассим</b> СЕМАНТИЧЕСКАЯ ПОЛНОТА В КАЗАХСКОЯЗЫЧНОМ EXTRACTIVE QA ЧЕРЕЗ ОНТОЛОГИЮ И RETRIEVAL-МЕХАНИЗМЫ .....	76
--	----

<b>О.Н. Акылбеков, Е.Т. Даулетбек, А.Н. Молдагулова, Г.С. Закария, Д.А. Гура</b> МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЁХМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ПЛАНИРОВАНИИ КАЗАХСТАНА .....	89
<b>С.Ж. Алиаскаров, Р.К. Ускенбаева, А. Разак, А.Б. Касымова, А.М. Анартаева</b> НА ПУТИ К ЭФФЕКТИВНОЙ АНАЛИТИКЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ: ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ ИЗ ВНЕДРЕНИЯ ГИБРИДНОЙ АРХИТЕКТУРЫ .....	109
<b>А.А. Исмаилова, Г.Р. Есенбаева, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Молдашева, А. Амангелды</b> РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МНОГОКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ БАКТЕРИЙ .....	128
<b>Г. Калман, К. Ярослав, А.Н. Исмуканова, Н.М. Аусилова, В.Е. Махатова</b> МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ ЗНАНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РАЗРЕШЕНИЯ КОРЕФЕРЕНЦИИ В МАЛОРЕСУРСНЫХ ЯЗЫКАХ .....	141
<b>Е.Г. Камен, Ж.Т. Есендаулетова, Л.С. Фазылова, М.Б. Рахимжанова, А.М. Недзьведь</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ВНИМАНИЯ У ДЕТЕЙ ПО ДАННЫМ ЭЭГ .....	158
<b>А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ .....	173
<b>М.Б. Нурпенсова, Ш.К. Айтказинова, А.М. Абеннов, Н.С. Доненбаева</b> МЕТОДИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ КООРДИНАТ В ТОПОЦЕНТРИЧЕСКУЮ ПРЯМОУГОЛЬНУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ .....	189
<b>А. Оспанов, П. Алонсо-Хорда, А. Жумадиллаева</b> ИНТЕГРАЦИЯ СКЛАДСКИХ МОДУЛЕЙ ERP-СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙНА, IOT-ДИМЕНСИОНЕРОВ И ОПТИМИЗИРОВАННОГО МАШИНЫМ ОБУЧЕНИЕМ РАСЧЁТА ГАБАРИТНО-ГО ВЕСА .....	202
<b>А.А. Сахипов, Р.Б. Сейитбек</b> СОБЫТИЯ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МИКРОСЕРВИСЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕАГИРОВАНИЯ НА ИНЦИДЕНТЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ .....	218
<b>Г.М. Юсупова, К.С. Шадинова, Д.И. Усипбекова, Ж.Ж. Ажибекова, П. Шмидт</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТИФИКАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ НА ГЛУБИНЕ 0–200 СМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МНОГОУРОВНЕВОГО НАЛОЖЕНИЯ .....	231

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>С.А. Адилжанова, М.Ж. Сакыпбекова, Л.Ш. Черикбаева, Г.А. Тюлепбердинова, Г.Т. Жубанышева</b> СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	244
<b>Т.К. Жукабаева, Д.Б. Баумуратова, Е. Бенкхелифа, Н.А. Ниетбаева</b> МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ .....	270
<b>Н.Е. Карабаев, С.К. Серикбаева, Е.М. Марденов, Б. Тасуов, М. Файкус</b> ОБНАРУЖЕНИЕ КИБЕРАТАК В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	292
<b>Б.А. Кумалаков, А.О. Даргулова</b> ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПОДБОРУ КАНДИДАТОВ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ РЕЗЮМЕ И ВАКАНСИЙ .....	311
<b>В. Махатова, Б. Джугембаева, А. Габдулова, Л. Нургалиева, А. Абдигалиева</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СЕНСОРА В SIEM-СИСТЕМАХ СРЕДСТВАМИ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ .....	326

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.1. Number 25 (2026). Pp. 173–188

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz>

<https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.011>

## COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS RADIO WAVE PROPAGATION MODELS FOR MOBILE NETWORK COVERAGE PREDICTION

*A.Ye. Kulakayeva, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, Sh. Nursultan\**

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [41362@iitu.edu.kz](mailto:41362@iitu.edu.kz)

**Aigul Ye. Kulakayeva** — Associate Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [a.kulakayeva@iitu.edu.kz](mailto:a.kulakayeva@iitu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

**Yelena A. Bakhtiyarova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz](mailto:y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-8735-7683>;

**Gaukhar T. Jakanova** — Senior Lecturer, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [gjakanova@iitu.edu.kz](mailto:gjakanova@iitu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0004-7890-3573>;

**Shakhdiar Nursultan** — International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

[41362@iitu.edu.kz](mailto:41362@iitu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-9287-7573>.

© A.Ye. Kulakavea, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, S. Nursultan

**Abstract.** This paper presents a comparative analysis of five radio wave propagation models commonly used for predicting mobile network coverage. The simulations were performed in a unified environment using RadioPlanner 3.0 for an urban area of Almaty under identical initial parameters. The comparison was carried out based on coverage maps and the metrics RSRP, reliable service radius, and the impact of terrain and building density. The results indicate that the Okumura-Hata model provides a symmetrical «average» coverage and generally overestimates the service radius in urban environments. The ITU-R P.1546 model delivers a balanced prediction that accounts for antenna height and terrain, making it suitable for rapid preliminary assessments. The Longley-Rice model produces a more physically realistic representation with local shadowing and diffraction zones, although it may slightly overestimate range at



higher frequencies. The ITU-R P1812-6 model offers the highest level of detail and accuracy under dense urban conditions, The 3GPP TR 38.901 model accurately reflects radio channel statistics and UMa/UMi scenarios, making it valuable for MIMO and beamforming analysis, though it is less precise in describing terrain-related effects.

**Keywords:** 4G LTE, 5G NR, radio planning, propagation models, Okumura-Hata, Longley-Rice, ITU-R P.1546- 6, ITU-R P.1812-6, 3GPP TR 38.901, RSRP, urban environment

**For citation:** A.Ye. Kulakayeva, Ye.A. Bakhtiyarova, G.T. Jakanova, S.Nursultan (2026). Comparative analysis of various radio wave propagation models for mobile network coverage prediction // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 25. Pp. 173–188. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.011>. (In Rus.).

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

## ҰЯЛЫ БАЙЛАНЫС ЖЕЛЛЕРІНІҢ ҚАМТУ АЙМАҒЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ӘРТҮРЛІ РАДИОТОЛҚЫН ТАРАЛУ МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

*А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан\**

Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: 41362@iitu.edu.kz

**Кулакаева Айгуль Ергалиевна** — «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан  
E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

**Бахтиярова Елена Ажибековна** — т.ғ.к, қауымдастырылған профессор, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының меңгерушісі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8735-7683>;

**Джаканова Гаухар Талгатовна** — «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының сениор-лекторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: gjakanova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-7890-3573>

**Нурсултан Шахдиар** — Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

41362@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-9287-7573>.

© А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан

**Аннотация.** Бұл мақалада мобильді желінің қамтуын болжау үшін қолданылатын бес радиотолқын таралу моделінің салыстырмалы талдауы

ұсынылған. Модельдеу Алматы қалалық аймағы үшін RadioPlanner 3.0 бағдарламалық ортасында бірдей бастапқы параметрлерді қолдана отырып жүргізілді. Салыстыру қамту карталары мен RSRP метрикасына, сенімді қызмет көрсету ауқымына және жер бедері мен ғимараттардың әсеріне негізделген. Нәтижелер Окумура-Хата моделі симметриялы «орташа» қамтуды қамтамасыз ететінін және әдетте қалалық жерлерде диапазонды асыра бағалайтынын көрсетті. ITU-R P.1546 моделі антенна биіктігі мен жер бедерін ескере отырып, теңдестірілген болжам жасайды, бұл оны алдын ала жылдам бағалауға жарамды етеді. Longley–Rice моделі жергілікті көлеңкелермен және дифракциялық аймақтармен физикалық тұрғыдан шынайы көріністі қалыптастырады, бірақ жоғары жиіліктерде ол диапазонды сәл асыра бағалауы мүмкін. ITU-R P.1812-6 тығыз қоныстанған аудандарда ең үлкен егжей-тегжейлілік пен дәлдікті қамтамасыз етеді. 3GPP TR 38.901 моделі радиоарна статистикасын және UMa/UMi сценарийлерін дәл көрсетеді және MIMO/сәуле түзуші талдау үшін пайдалы, бірақ жергілікті жердің әсерлерін онша дәл сипаттамайды.

**Түйін сөздер:** 4G LTE, 5G NR, радио жоспарлау, таралу модельдері, Окумура–Хата, Лонгли–Райс, ITU-R P.1546-6, ITU-R P.1812-6, 3GPP TR 38.901, RSRP, қалалық аймақтар

**Дәйексөздер үшін:** А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан (2026). Ұялы байланыс желілерінің қамту аймағын болжауға арналған әртүрлі радиотолқын таралу модельдерінің салыстырмалы талдауы // Халықаралық ақпараттық және коммуникалық технологиялар журналы. Т. 7. No. 25. Б. 173–188. <https://doi.org/10.54309/IJCT.2026.25.1.011>. (Орыс тіл.).

**Мүдделер қақтығысы:** Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

*А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан* \*

Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

E-mail: 41362@iitu.edu.kz

**Кулакаева Айгуль Ергалиевна** — ассоциированный профессор кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

**Бахтиярова Елена Ажибековна** — к.т.н., ассоциированный профессор, зав. кафедрой «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8735-7683>;

**Джаканова Гаухар Талгатовна** — senior-лектор кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: [gjakanova@iitu.edu.kz](mailto:gjakanova@iitu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0004-7890-3573>

**Нурсултан Шахдиар** — Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

[41362@iitu.edu.kz](mailto:41362@iitu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-9287-7573>.

© А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан

**Аннотация.** В работе проведен сравнительный анализ пяти моделей распространения радиоволн, используемых для прогнозирования покрытия сетей мобильной связи. Моделирование осуществлялось в единой программной среде RadioPlanner 3.0 для городской территории г. Алматы с одинаковыми исходными параметрами. Сравнение проводилось по картам покрытия и метрикам RSRP, радиусу уверенного обслуживания и степени влияния рельефа местности и застройки. Результаты показали, что модель Okumura–Hata обеспечивает «усредненное» покрытие и, как правило, завышает радиус в городской среде. Модель ITU-R P.1546 дает сбалансированный прогноз с учетом высот антенн и рельефа, что делает ее подходящей для быстрой предварительной оценки. Модель Longley–Rice формирует более физически реалистичную картину с локальными тенями и дифракционными зонами, однако на высоких частотах может незначительно завышать дальность. ITU-R P.1812-6 обеспечивает наибольшую детальность и точность в условиях плотной застройки. Модель 3GPP TR 38.901 корректно отражает статистику радиоканала и сценарии UMa/UMi, полезна для анализа MIMO, beamforming, но менее точно описывает локальные эффекты рельефа.

**Ключевые слова:** 4G LTE, 5G NR, радиопланирование, модели распространения, Okumura–Hata, Longley–Rice, ITU-R P.1546-6, ITU-R P.1812-6, 3GPP TR 38.901, RSRP, городская застройка

**Для цитирования:** А.Е. Кулакаева, Е.А. Бахтиярова, Г.Т. Джаканова, Ш. Нурсултан (2026). Сравнительный анализ различных моделей распространения радиоволн для прогнозирования покрытия сетей мобильной связи// Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 25. Стр. 173–188. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.25.1.011>. (На русс.).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение.

Развитие современных телекоммуникационных технологий и быстрое внедрение сетей пятого поколения (5G) предъявляют высокие требования к точности радиопланирования и прогнозирования покрытия. Качество обслуживания пользователей, эффективность размещения базовых станций



и рациональное использование частотного ресурса напрямую зависит от правильного выбора модели распространения радиоволн. В условиях плотной городской застройки радиоволны подвержены сложным многолучевым эффектам, дифракции, отражениям и затуханиям, что значительно усложняет задачу расчета радиопокрытия и требует использования адекватных моделей, учитывающих реальные физические процессы.

Точность прогнозирования радиопокрытия зависит от того, насколько правильно модели учитывают реальные условия распространения сигнала. Исследования показали, что игнорирование неровностей рельефа приводит к искажению расчетов, особенно при использовании коммерческих инструментов радиопланирования. Эксперименты подтвердили, что форма рельефа влияет на уровень затухания в диапазоне 900 МГц–24 ГГц, что делает необходимым учет этих факторов при калибровке моделей для систем 5G и 6G (Soo и др., 2025).

Эмпирические модели CI и ABG остаются основными инструментами для оценки потерь на пути распространения радиосигналов. Их точность зависит от частоты и окружающей среды. При низких частотах лучше работает CI, а при высоких частотах стабильнее проявляет себя ABG (Erunkulu и др., 2024).

В ряде исследований предлагаются методы оптимизации существующих моделей. Например, использование генетического алгоритма позволило сократить среднеквадратичную ошибку расчетов более чем на 90 %, что подтверждает эффективность эволюционных подходов в проектировании гетерогенных сетей 5G (Anwar Faiz и др., 2024).

Перспективным направлением является разработка гибридных моделей, которые объединяют физические принципы и машинное обучение. Применение метода главных компонент (PCA) и полиномиальной регрессии позволило снизить стандартное отклонение ошибки прогноза на 3,3–6,1 дБ, что подтверждает потенциал искусственного интеллекта в радиопланировании (Juang, 2022).

Обзор текущих исследований указывают на то, что развитие моделей потерь пути движется в сторону интеллектуальных и гибридных подходов, включая использование терагерцового диапазона и технологий отражающих поверхностей (Wang и др., 2023).

Для миллиметровых волн особенно важны исследования, учитывающие климат, рельеф и материалы зданий. В частности, моделирование в 4 городах Нигерии (28–73 ГГц) показало, что модель ABG обеспечивает наивысшую точность, хотя результаты варьируются в зависимости от географии и частоты (Afare и др., 2024).

Классические эмпирические модели, такие как Okumura–Nata (Nata и др., 2013), зарекомендовали себя как простые и удобные инструменты для оценки зоны действия базовых станций. Однако их упрощенный характер и без учета рельефа и плотности застройки могут привести к переоценке радиуса уверенного приема. Более сложные физические и гибридные модели, например Longley–Rice (NTIA Report 82–100 и др., 1982), ITU-R P.1546–6 (МСЭ-R P.1546–6 и др., 2019) и



ITU-R P.1812–6 (МСЭ-R P.1812–6 и др., 2021), предлагают более точные прогнозы, учитывая геометрию местности, параметры антенн, отражения и атмосферные эффекты. Тем не менее их использование требует большего объема входных данных и вычислительных ресурсов.

Модель 3GPP TR 38.901 (3GPP TR 38.901 V17.0.0. и др., 2023), разработанная консорциумом 3GPP, занимает особое место среди современных подходов к анализу радиоканалов в системах LTE Advanced и 5G NR. В отличие от традиционных моделей, она учитывает сценарии городской макро- и микросоты (Urban Macro и Urban Micro), многолучевые пути, а также технологии MIMO и beamforming.

Выбор адекватной модели распространения радиоволн является одной из важных задач при проектировании сетей мобильной связи. Недостаточная оценка влияния рельефа и застройки может привести к ошибкам в прогнозировании покрытия и ухудшению качества обслуживания. В то же время чрезмерное усложнение модели может привести к увеличению времени расчетов и затрат на проектирование.

Цель данного исследования – провести сравнительный анализ различных моделей распространения радиоволн: Okumura–Hata, Longley–Rice, ITU-R P.1546–6, ITU-R P.1812–6 и 3GPP TR 38.901. Это позволит определить их точность и применимость для прогнозирования покрытия сетей 4G (LTE) и 5G.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- провести моделирование радиопокрытия в программном комплексе Radioplaner с одинаковыми исходными параметрами для диапазонов 900 и 3500 МГц;
- проанализировать особенности формирования зон покрытия для каждой модели и выявить различия в их пространственном распределении;
- оценить влияние рельефа, застройки и частоты на точность прогнозирования на примере г. Алматы;
- определить оптимальные области применения каждой модели при проектировании и оптимизации сетей 4G/5G.

Научная новизна работы заключается в комплексном сравнении пяти распространенных моделей распространения радиоволн, выполненном в единой программной среде и при идентичных условиях моделирования. Это позволяет объективно оценить различия между эмпирическими, физическими и отраслевыми подходами.

Практическая значимость исследования заключается в возможности выбора наиболее адекватной модели для конкретного этапа радиопланирования.

### **Материалы и методы.**

Исследование было проведено с использованием программного комплекса Radioplaner 3.0, который предназначен для проектирования и оптимизации сетей мобильной связи. Программа поддерживает модели Okumura–Hata, Longley–Rice, ITU-R P.1546–6, ITU-R P.1812–6 и 3GPP TR 38.901. В качестве исходных данных

используется цифровая модель рельефа и застройки с разрешением примерно 30 м, созданная на основе OpenStreetMap и Global Forest Change. RadioPlanner 3.0 позволяет рассчитывать уровни RSRP, PL, отношение  $C/(I + N)$  и вероятность покрытия. Тип местности определен как «усредненная городская застройка» (Urban), где параметры «clutter» (препятствий) задавались на основе комбинации данных OpenStreetMap и Global Forest Change, что соответствует застройке средней этажности с высотой зданий в диапазоне 15–25 метров.

Также реализована функция отображения профиля трассы, анализа высотных препятствий и экспорта результатов в форматы KMZ, PNG и GeoTiff. Применение параллельных вычислений обеспечивает высокую скорость моделирования даже при наличии множества базовых станций. Все расчеты выполнялись для сетей 4G (LTE) и 5G при фиксированных параметрах передающих и приемных устройств в условиях городской застройки г. Алматы. Исходные данные и параметры моделирования в Radioplaner приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные параметры для моделирования радиопокрытия

Параметр	Значение
Частота LTE, МГц	900
Частота 5G, МГц	3500
Высота подвеса антенны базовой станции, м	30
Высота мобильного устройства (пользовательского), м	1,5
Мощность передатчика, дБм	40
Тип местности	Городская (Urban)
Радиус моделирования, км	2

Каждая из выбранных моделей была применена к одному и тому же участку городской территории с фиксированными координатами базовой станции. Это позволило оценить влияние используемого математического подхода на форму и площадь зоны покрытия, а также на устойчивость сигнала в пределах городской застройки. Особое внимание уделялось сравнению результатов в диапазонах 900 МГц и 3500 МГц, поскольку различие в длине волны и механизмах распространения определяют характер затухания и глубину проникновения сигнала.

Эмпирические модели (Okumura–Hata, ITU-R P.1546–6) продемонстрировали предсказуемое усредненное распределение сигнала, что делает их удобными для первичных расчетов и быстрой оценки радиуса обслуживания. В то же время физические и гибридные модели (Longley–Rice, ITU-R P.1812–6, 3GPP TR 38.901) обеспечили более детализированное отражение влияния рельефа, плотности застройки и высотных препятствий. Сравнение этих моделей дало возможность определить, какие из них лучше подходят для точного проектирования сетей 4G и 5G в условиях плотной городской среды, где неоднородность местности и множественные отражения существенно влияют на реальное распределение уровня сигнала.

## Результаты и обсуждение.

*Модель Okumura–Hata.* Результаты моделирования по эмпирической модели Okumura–Hata представлены на рисунке 1: (а) для LTE 900 МГц, (б) для 5G 3500 МГц. Модель показывает радиально-симметричную структуру покрытия, где зоны уверенного приема формируют почти идеальные покрытия вокруг базовых станций. На карте преобладают крупные области желтого и красного цвета, соответствующие уровням сигнала выше  $-85$  дБм, которые плавно переходят в зеленые и синие зоны по мере удаления от центра соты (снижается уровень сигнала).

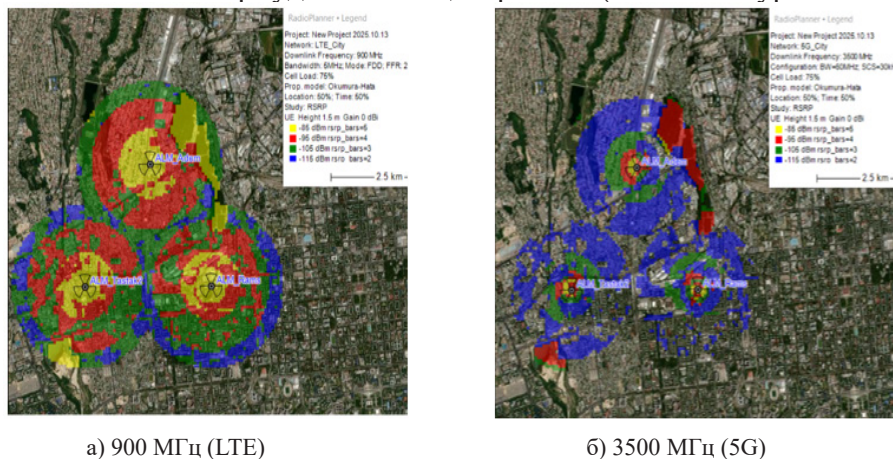


Рис. 1. Модель Okumura–Hata

Такое распределение свидетельствует о том, что модель не учитывает влияние рельефа, плотности застройки и локальных преград, что приводит к идеализированному покрытию. Отсутствие выраженных неоднородностей и «теневых» зон подтверждает, что расчет основан на усредненных эмпирических формулах.

Расчет потерь на пути распространения радиосигналов проводился с использованием зависимости Okumura–Hata для городской местности:

$$L = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d),$$

$$a(h_m) = [1.1 \log_{10}(f) - 0.7] h_m - [1.56 \log_{10}(f) - 0.8],$$

где  $L$  - потери на трассе (дБ),  $f$  - частота (МГц),  $h_b$  и  $h_m$  - высоты антенн базовой и абонентской станций (м),  $d$  - расстояние между ними (км).

Сравнение результатов для различных частот показало ожидаемую зависимость. При частоте 900 МГц зона уверенного приема охватывает практически весь исследуемый радиус (до 2 км), обеспечивая устойчивое покрытие. Однако при переходе к 3500 МГц радиус уверенного приема значительно сокращается, а зона синего цвета (уровень ниже  $-105$  дБм) расширяется. Это показывает о возрастании потерь на распространение при увеличении частоты и снижении

способности сигнала проникать сквозь препятствия.

Также стоит отметить, что расчет для 5G проводился по модели Okumura–Nata в диапазоне 150–1500 МГц, как и для 4G. Однако это выходит за пределы ее применимости, что может привести к искажению оценкам потерь и радиуса покрытия.

*Модель Longley–Rice.* На рисунке 2 представлено покрытие (а) для LTE 900 МГц, (б) для 5G 3500 МГц. Расчет выполнены по модели Longley–Rice. В отличие от модели Okumura–Nata, форма зон покрытия здесь менее правильная и более «размытая», что отражает физическую природу расчетов. Данная модель учитывает кривизну Земли, а также отражения и дифракцию, благодаря чему покрытие выглядит более реалистично и соответствует тому, что наблюдается на практике.

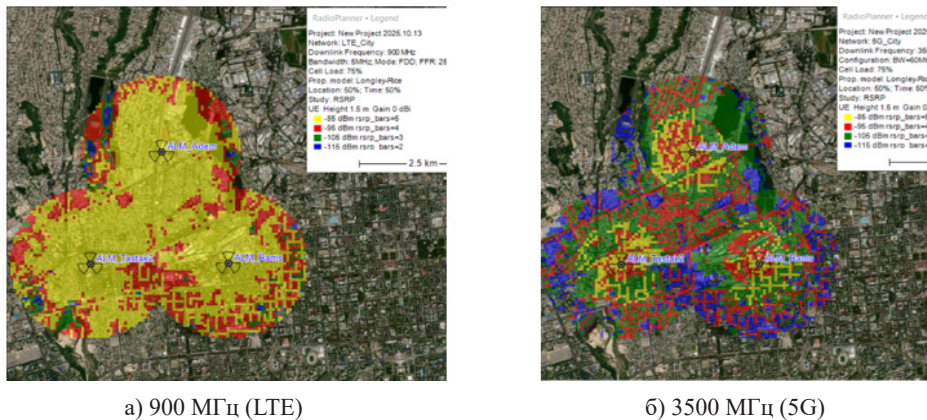


Рис. 2. Модель Longley–Rice

Для частоты 900 МГц зона уверенного приема обладает достаточно широкой площадью и плавными переходами уровней сигнала. В отличие от этого, при частоте 3500 МГц зона значительно сужается, а доля слабых участков (зеленых и синих) увеличивается. Карта сигнала выглядит неоднородно, появляются локальные провалы сигнала и вытянутые области, что обусловлено влиянием рельефа и городской застройки.

Модель Longley–Rice в целом предлагает более физически обоснованное описание покрытия и подходит для оценки воздействия рельефа и атмосферы. Однако при высоких частотах она может немного завышать дальность уверенного приема.

Расчет потерь выполнен с использованием следующего уравнения:

$$L = L_{fs} + L_{diff} + L_{scatt},$$

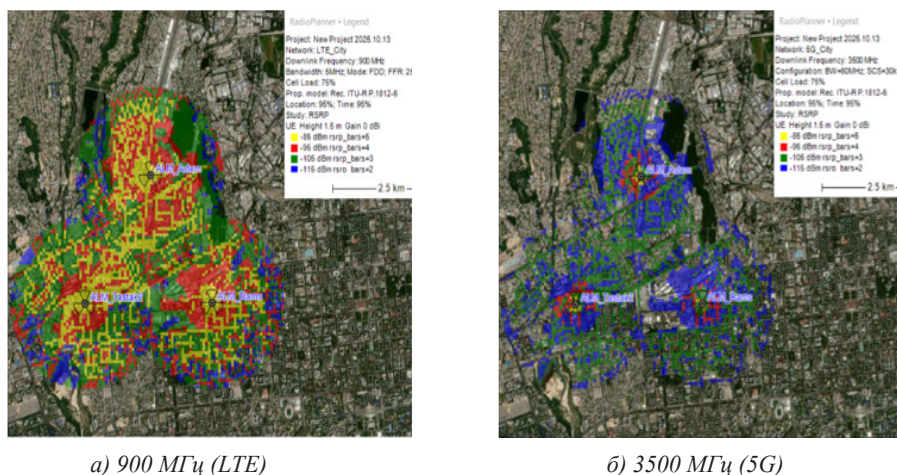
где  $L_{fs}$  – потери свободного пространства,  $L_{diff}$  – потери из-за дифракции на рельефе, а  $L_{scatt}$  – потери, вызванные тропосферным рассеянием и переотражениями.

В обобщенном виде итоговые потери определяются следующим образом:

$$L_{tot} = L_b + A_t + A_d + A_s,$$

где  $A_t$  – влияние рельефа,  $A_d$  – дифракция,  $A_s$  – потери из-за атмосферных условий.

*Модель ITU-R P.1812.* На рисунке 3 представлены результаты расчетов по рекомендации ITU-R P.1812–6 для диапазонов 900 и 3500 МГц. Эта модель демонстрирует наиболее реалистичное радиопокрытие среди всех рассмотренных подходов. Она учитывает такие факторы, как рельеф плотность застройки, дифракцию и переотражения, что наглядно видно по «пятнистому» распределению уровней сигнала.



а) 900 МГц (LTE)

б) 3500 МГц (5G)

Рис. 3. Модель ITU-R P.1812

Для частоты 900 МГц зона уверенного приема имеет сложную форму. Сигнал сохраняется в открытых пространствах, но значительно ослабевает в тени зданий и за препятствиями. При частоте 3500 МГц влияние городской застройки усиливаются, возникают многочисленные области с низким уровнем RSRP (ниже –105 дБм), особенно в плотных кварталах. Карта выглядит детализированной и точно отражает распределение сигнала в городской среде.

Данная модель является реалистичной и описывает распространение радиоволн «из пункта в зону», учитывая дифракцию, отражения и тропосферные эффекты.

$$L_{tot} = L_b + L_d + L_{clutter} + L_{corr},$$

где  $L_b$  – потери свободного пространства;  $L_d$  – потери на дифракцию;  $L_{clutter}$  – поправка на застройку;  $L_{corr}$  – коррекция по рельефу.

*Модель ITU-R P.1546.* Рисунок 4 показывает результаты расчетов по модели ITU-R P.1546–6 для частот 900 и 3500 МГц. В отличие от традиционных

эмпирических подходов, эта модель учитывает влияние рельефа, высоту антенн и тип местности, что позволяет более точно оценить распределение сигнала.

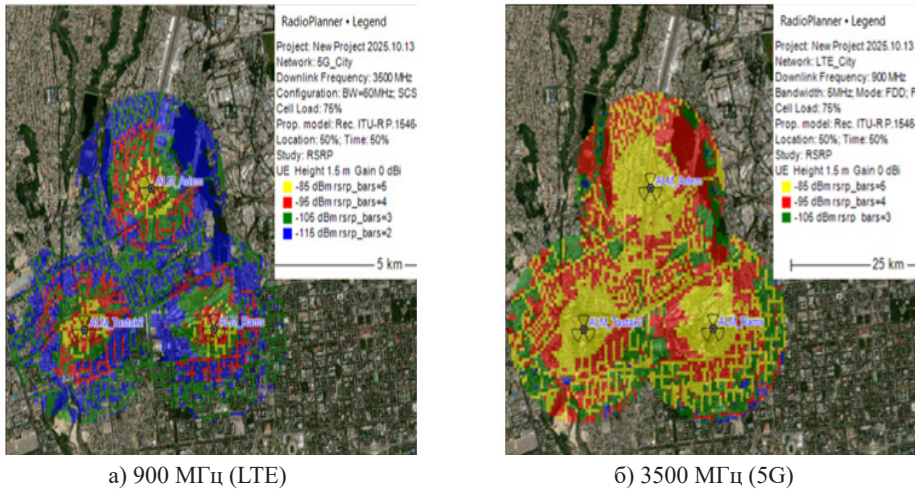


Рис. 4. Модель ITU-R P.1546

При частоте 900 МГц карта демонстрирует обширную зону уверенного приема (до  $-85$  дБм), плавные переходы и минимальное количество теневых участков. На частоте 3500 МГц радиус покрытия уменьшается, а доля ослабленных зон (ниже  $-105$  дБм) возрастает, особенно в периферийных и застроенных районах. Однако контуры покрытия остаются достаточно сглаженными, что указывает на сохранение эмпирического характера модели.

Эта модель основана на эмпирических кривых, которые связывают напряженность поля с дальностью распространения в диапазоне от 30 до 4 ГГц. Для расчета эквивалентных потерь применяется формула:

$$L_b = 139,3 - E + 20 \log_{10}(f),$$

где  $L_b$  – эквивалентные потери, дБ;  $E$  – напряженность поля, дБ(мкВ/м);  $f$  – частота, МГц.

В целом, ITU-R P.1546–6 показывает сбалансированные результаты. Она более точна, чем модель Okumura-Nata, и при этом проще в вычислениях, чем ITU-R P.1812-6. Эта модель подходит для предварительного планирования городских сетей LTE и 5G, обеспечивая разумный компромисс между скоростью расчета и реалистичностью прогноза.

*Модель 3GPP TR 38.901.* На рисунке 5 показаны результаты расчетов по модели 3GPP TR 38.901 для частот 900 и 3500 МГц. Эта модель разработана консорциумом 3GPP специально для современных систем LTE Advanced и 5G NR, учитывая особенности многолучевого распространения, MIMO и beamforming.

При частоте 900 МГц (рисунок 5, а) карта показывает равномерное покрытие с практически однородным уровнем сигнала и без заметных провалов.



а) 900 МГц (LTE)

б) 3500 МГц (5G)

Рис. 5. Модель 3GPP TR 38.901

На частоте 3500 МГц (рисунок 3, б) зона уверенного приема значительно уменьшается, но сохраняет четкую структуру соты, соответствующую сценариям Urban Macro и Urban Micro.

Эта модель используется для расчета потерь в современных сетях LTE и 5G и различает сценарии прямой (LOS) и непрямой (NLOS) видимости:

$$PL_{LOS} = 28.0 + 22 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c),$$

$$PL_{NLOS} = 13.54 + 39.08 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UE} - 1.5),$$

где  $d_3$  – трехмерное расстояние между антеннами, м;  $f_c$  – частота, ГГц;  $h_{UE}$  – высота пользовательского устройства, м.

Модель 3GPP TR 38.901 наиболее точно отражает реальные условия распространения для сетей 5G, включая эффекты отражений, затенения и многолучевого распространения.

В отличие от моделей ITU-R, 3GPP TR 38.901 не стремится точно описывать местные особенности рельефа или застройки, вместо этого она отражает усредненные статистические характеристики радиоканала. Это делает модель подходящей для оценки производительности сетей 5G, анализа эффективности антенн и технологий пространственного формирования лучей, однако ее точность снижается при прогнозировании мелкомасштабных эффектов в плотной городской среде.

Для наглядного сравнения особенностей пяти рассмотренных моделей было проведено их оценивание по таким критериям: типу, степени учета рельефа

и застройки, реализму прогнозов и рекомендованной области применения. Итоговые характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная анализ моделей распространения радиоволн для прогнозирования покрытия мобильных сетей связи

№	Модель	Учет рельефа	Учет	Преимущества	Ограничения	Рекомендуемая область применения
1	Okumura–Hata	нет	нет	Простота, быстрые расчеты	Завышает радиус, не учитывает среду	Предварительные оценки радиуса покрытия
2	Longley–Rice (ITM)	да		Учитывает отражения и дифракцию	Чувствительна к параметрам среды	Пригородные и сельские зоны
3	ITU-R P.1546-6	да		Учитывает высоты антенн и рельеф	Ограниченная детализация в городе	Предварительное планирование городских сетей
4	ITU-R P.1812-6	да	да	Наиболее точное моделирование городской среды	Требует детальных данных и вычислений	Детальное радиопланирование LTE/5G
5	3GPP TR 38.901	нет		Учитывает MIMO, beamforming, сценарии UMa/UMi	Не отражает локальные эффекты	Оценка производительности сетей 5G

Из таблицы 2 видно, что с усложнением математической модели увеличивается точность прогнозирования, однако при этом возрастают требования к исходным данным и вычислительным ресурсам.

Таким образом, оптимальная стратегия радиопланирования включает комбинированный подход. На этапе предварительной оценки следует использовать ITU-R P.1546–6, а для детальной оптимизации и валидации параметров – ITU-R P.1812–6. Для анализа сетевых сценариев и работы антенн в системах 5G NR рекомендуется применять 3GPP TR 38.901.

Проведенное моделирование показало, что результаты различных моделей значительно различаются, особенно при переходе от диапазона 900 МГц (LTE) к 3500 МГц (5G). На низких частотах сигнал распространяется дальше и меньше зависит от застройки, тогда как на высоких частотах зона уверенного приема резко сокращается, и любое препятствие, такое как здание или перегиб рельефа местности приводит к заметному ослаблению сигнала.

Модель Okumura–Hata предлагает наиболее простую и «идеальную» картину. Покрытие выглядит симметричным, как круги на воде, без учета рельефа и зданий, из-за чего радиус уверенного приема всегда завышен. Эта модель годится, подходит для быстрого предварительного определения зоны действия базовой станции, но для точных расчетов в городской среде она неэффективна.

Модель Longley–Rice, напротив, учитывает физику распространения, отражение, дифракцию и влияние атмосферы. В результате карта выглядит более реалистична. Появляются вытянутые зоны и участки с пониженным уровнем

сигнала. Эта модель особенно полезна для пригородов и открытых пространств, где рельеф местности играет значительную роль.

ITU-R P.1546–6 представляет собой нечто среднее. Она учитывает высоту антенн и особенности местности, оставаясь при этом достаточно быстрой и простой. Покрытие выглядит сглаженным, но ближе к реальности. Эту модель удобно использовать на раннем этапе проектирования, чтобы быстро оценить варианты размещения базовых станций.

Самой точной является модель ITU-R P.1812–6. Она учитывает рельеф, застройку, дифракцию и отражения, поэтому карта покрытия получается очень детализированной и «живой», видны участки тени за зданиями и реальные контуры распространения сигнала. Именно эта модель дает наиболее близкие к реальности результаты, особенно в условиях плотной городской застройки.

Современная модель 3GPP TR 38.901 ориентирована не столько на геометрию распространения, сколько на технологии 5G MIMO, beamforming, сценарии Urban Macro и Urban Micro. Она описывает радиоканал в среднем, статистически, что делает карту покрытия более равномерной. Однако на практике это не всегда так, поскольку мелкие препятствия и плотная застройка этой модели не учитываются.

Можно сказать, что точность модели возрастает вместе с увеличением ее сложности. Простые модели быстро дают общий результат, но не учитывают реальные условия. Более сложные модели, особенно ITU-R P.1812–6 позволяют увидеть реальную картину покрытия, но требуют больше данных и времени на расчеты.

На основе данного анализа можно сделать следующие выводы:

1. На этапе предварительного планирования можно использовать модель Okumura–Nata или ITU-R P.1546–6 для оценки границ зон покрытия. Для детальной оптимизации и уточнения покрытия следует применять ITU-R P.1812–6.

2. Если с целью оценить работу современных технологий, таких как MIMO или beamforming, лучше подойдет 3GPP TR 38.901.

Таким образом, ни одна модель не является универсальной. Каждая решает свою задачу, и грамотный инженер должен выбирать модель в зависимости от конкретного сценария. Только комбинированный подход, при котором простые модели служат основой, а точные подтверждают расчеты, позволяет получить реалистичный прогноз покрытия и избежать ошибок в проектировании сети.

### **Заключение.**

Проведенное исследование продемонстрировало различия в поведении различных моделей распространения радиоволн и их пригодность для проектирования сетей мобильной связи нового поколения. Результаты расчетов показали, что даже при одинаковых условиях моделирования результаты существенно различаются, каждая модель «видит» радиосреду по-своему.

Основной результат заключается в том, что модели, основанные на рекомендациях МСЭ, особенно ITU-R P.1812–6, дают наиболее точное описа-

ние реальной картины радиопокрытия. Они учитывают не только высоту антенн и рельеф, но и сложную структуру городской застройки, что критически важно для сетей 4G и 5G. Более простые подходы, такие как Okumura–Hata и ITU-R P.1546–6, остаются полезными для предварительных расчетов и быстрого анализа вариантов размещения базовых станций. Модель 3GPP TR 38.901 обеспечивает связь с современными технологиями передачи данных и может использоваться для оценки производительности систем с MIMO и beamforming, где приоритетом являются характеристики радиоканала, а не форма покрытия.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют инженерам-проектировщикам осознанно выбирать модель под конкретную задачу, будь то первичное проектирование, оптимизация покрытия или анализ технологической эффективности сети.

Кроме того, проведенное сравнение способствует формированию универсального подхода к планированию. Использование простых моделей для быстрых расчетов и уточнение прогнозов с помощью более точных физических моделей.

Важно отметить, что в рамках данной работы проводилось сравнительное исследование теоретических моделей в программной среде. Валидация полученных данных путем сопоставления с реальными полевыми измерениями (drive-test) в г. Алматы является темой дальнейших исследований. Это позволит установить эталонную модель для данного региона, в то время как текущая работа фокусируется на выявлении системных различий в математических подходах.

## REFERENCES

- Afape J.O., Willoughby A.A., Sanyaolu M.E., Obiyemi O.O., Moloi K. & Dairo O.F. (2024). Path loss modelling of mmwave outdoor propagation for 5G mobile systems at 28, 38, 60, and 73 GHz in four Nigerian cities. // *Discover Applied Sciences*. — Vol. 6(10). — Pp. 495. 10.1007/s42452-024-06171-y
- Anwar Faizd Osmanc, Mohamad Huzaimy Jusohd, L. L. C. M. R. C. S. A. W. (2024). Path Loss Model Optimization In An Urban Environment Using Genetic Algorithm // *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*. — Vol. 12(3). — Pp. 893–900. <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/5369>.
- Erunkulu O. O., Zungeru A. M., Thula I. G., Lebekwe C. & Mosalaosi M. (2024). A comparative analysis of alpha-beta-gamma and close-in path loss models based on measured data for 5G mobile networks // *Results in Engineering*. — Vol. 22. — Pp. 102328. 10.1016/j.rineng.2024.102328
- Hata M. (2013). — Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. — Vol. 29(3). — Pp. 317–325. 10.1109/T-VT.1980.23859.
- Hufford G. A., Longley A. G. & Kissick W. A. (1982). A guide to the use of the ITS Irregular Terrain Model in the area prediction mode // U.S. Department of Commerce. National Telecommunications and Information Administration // NTIA Report 82-100. — Pp. 126. [https://its.ntia.gov/publications/download/82-100\\_ocr.pdf](https://its.ntia.gov/publications/download/82-100_ocr.pdf)
- International Telecommunication Union. (2019). ITU-R P.1546-6. *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4000 MHz* // Series P: Radiowave Propagation. — Geneva. — Pp. 59. [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-I!!PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-I!!PDF-R.pdf)
- International Telecommunication Union. (2021). ITU-R P.1812-6. *A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 6000 MHz* // Series P: Radiowave Propagation. — Geneva. — Pp. 34. — [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1812-6-202109-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1812-6-202109-S!!PDF-E.pdf)
- [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/138900\\_138999/138901/17.00.00\\_60/tr\\_138901v170000p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138901/17.00.00_60/tr_138901v170000p.pdf)
- Juang R.T. (2022). Path loss modelling based on path profile in urban propagation environments // *IET Communications*. — Vol. 16(6). — Pp. 685–694. 10.1049/cmu2.12369



Soo Q.P., Lim S.Y., Chee P.S., Lim E.H. & Yap K.M. (2025). Radio propagation modeling and measurement of uneven terrain model // *Scientific Reports*. — Vol. 15(1). — Pp. 28654. 10.1038/s41598-025-00958-8.

Wang J., Hao Y. & Yang C. (2023). The Current Progress and Future Prospects of Path Loss Model for Terrestrial Radio Propagation // *Electronics*. — Vol. 12(24). — P. 4959. 10.3390/electronics12244959.

3rd Generation Partnership Project. (2023). 3GPP TR 38.901 V17.0.0 // *Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 17)*. — 3GPP. — Pp. 100.

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND  
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И  
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Собственник:**

АО «Международный университет информационных  
технологий» (Казахстан, Алматы)

**Главный редактор:**

Колесникова Катерина Викторовна

**Ответственный редактор:**

Мрзабаева Раушан Жалиевна

**Компьютерная верстка:**

Калабай Замзагуль Ертугановна

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.03.2026.

050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).