

УДК 004.9:621.39

https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/18

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА И ПЛОТНОСТИ ЗАСТРОЙКИ

©*Сопубеков Н. А.*, ORCID: 0000-0002-7309-0292, SPIN-код: 9485-1075, канд. техн. наук,
Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, nematsopubekov@gmail.com

©*Мойдунов Т. Т.*, ORCID: 0009-0002-4328-3269, SPIN-код: 5092-7523, д-р техн. наук, Ошский
технологический университет им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан

©*Шарабидин кызы А.*, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, sharabidin.a93@gmail.com

GEOSPATIAL MODELING OF MOBILE NETWORK COVERAGE CONSIDERING TERRAIN AND BUILDING DENSITY

©*Sopubekov N.*, ORCID: 0000-0002-7309-0292, SPIN code: 9485-1075, Ph.D.,
Osh Technological University named after M. Adysheva,
Osh, Kyrgyzstan, nematsopubekov@gmail.com

©*Moidunov T.*, ORCID: 0009-0002-4328-3269, SPIN-code: 5092-7523, Dr. habil.,
Osh Technological University named after M. Adysheva, Osh, Kyrgyzstan

©*Sharabidin kyzy A.*, Osh Technological University named after M. Adysheva,
Osh, Kyrgyzstan, sharabidin.a93@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются вопросы применения геоинформационных технологий для анализа качества покрытия мобильных сетей с учетом рельефа и плотности застройки. Особое внимание уделено влиянию географических факторов на распространение радиосигнала. Используются методы геопространственного анализа и модели распространения радиоволн. Результаты моделирования позволяют выявить зоны ухудшенного приема сигнала и определить направления оптимизации размещения базовых станций мобильной связи.

Abstract. The article examines the application of geoinformation technologies for analyzing the quality of mobile network coverage, considering terrain features and building density. Particular attention is paid to the influence of geographical factors on radio signal propagation. Geospatial analysis methods and radio wave propagation models were used in the study. The modeling results make it possible to identify areas with degraded signal reception and determine directions for optimizing the placement of mobile network base stations.

Ключевые слова: геоинформационные системы, мобильные сети, радиопокрытие, пространственный анализ, распространение радиоволн, моделирование покрытия.

Keywords: GIS, mobile networks, radio coverage, geospatial analysis, terrain, signal propagation, spatial modeling.

Качество работы мобильных сетей во многом определяется уровнем радиопокрытия территории и стабильностью приема сигнала. В регионах Кыргызстана со сложным рельефом, распространение радиоволн существенно зависит от особенностей местности и плотности городской застройки. Геоинформационные системы позволяют учитывать пространственные факторы и выполнять моделирование радиопокрытия [4, 5].

Факторы, влияющие на качество радиопокрытия. К основным факторам, влияющим на распространение радиосигнала, относятся рельеф местности, плотность застройки, расстояние до базовой станции, частотный диапазон и характеристики антенн. В горных регионах возможны зоны радиотени, где сигнал значительно ослабляется [1, 2, 6].

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО РАДИОПОКРЫТИЯ

Фактор	Описание	Влияние
Рельеф местности	Горы, холмы, долины	Экранирование сигнала
Плотность застройки	Городские здания	Отражение и затухание
Расстояние до БС	Удаленность абонента	Ослабление сигнала
Частотный диапазон	Рабочая частота сети	Изменение дальности распространения

Моделирование распространения радиосигнала. Для оценки качества радиопокрытия мобильных сетей используются математические модели распространения радиоволн.

Таблица 2

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ РАДИОПОКРЫТИЯ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ

Параметр	Обозначение	Значение
Частота сигнала	f	1800–2600 МГц
Мощность передатчика	P _t	43 дБм
Высота антенны БС	h _t	30–50 м
Высота приемника	h _r	1.5–2 м
Коэффициент усиления антенны	G _t	15–18 дБ
Тип среды	n	3–4
Тип модели	–	Log-distance / Okumura-Hata

Одной из наиболее распространённых моделей является логарифмическая модель потерь сигнала (Log-distance path loss model), которая широко применяется при анализе радиопокрытия сотовых сетей [1–3].

Общие потери распространения сигнала определяются выражением:

$$L(d) = L_0 + 10 n \log_{10}(d / d_0) \quad (1)$$

где: L(d) — потери сигнала на расстоянии d, дБ; L₀ — потери сигнала на опорном расстоянии d₀, дБ; n — коэффициент затухания среды распространения; d — расстояние между передатчиком и приемником, м; d₀ — опорное расстояние (обычно 1 м).

Уровень принимаемого сигнала определяется следующим выражением:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L(d) \quad (2)$$

где: P_r — мощность принимаемого сигнала, дБм; P_t — мощность передатчика, дБм; G_t — коэффициент усиления антенны передатчика, дБ; G_r — коэффициент усиления антенны приемника, дБ; L(d) — суммарные потери сигнала при распространении.

Для более точного моделирования радиопокрытия в городских и горных условиях также используется эмпирическая модель Okumura–Hata. Модель имеет следующий вид:

$$L = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d) \quad (3)$$

где: f — частота сигнала, МГц; h_b — высота антенны базовой станции, м; h_m — высота антенны мобильного абонента, м; d — расстояние между базовой станцией и абонентом, км; $a(h_m)$ — поправочный коэффициент для высоты мобильной станции.

Данные модели используются при геопространственном моделировании радиопокрытия мобильных сетей, позволяя учитывать влияние расстояния, рельефа местности и параметров антенн на уровень принимаемого сигнала. Геопространственная модель анализа покрытия. Геопространственное моделирование выполняется с использованием геоинформационных систем, таких как ArcGIS или QGIS (Рисунок 1). Входными данными являются цифровая модель рельефа, координаты базовых станций и характеристики радиосигнала. На основе этих данных строится карта покрытия мобильной сети [4].



Рисунок 1. Геоинформационная модель анализа покрытия мобильной сети

Влияние рельефа на распространение радиосигнала. Рельеф местности оказывает существенное влияние на распространение радиосигнала. Горные препятствия могут блокировать сигнал, формируя зоны радиотени. Это особенно характерно для территорий со сложной орографией, таких как Кыргызская Республика (Рисунок 2).



Рисунок 2. Влияние рельефа на распространение радиосигнала

Практическое значение исследования. Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности применения результатов геопространственного моделирования при планировании и развитии телекоммуникационной инфраструктуры. Использование методов геоинформационного анализа позволяет более точно оценивать уровень радиопокрытия мобильных сетей и выявлять участки территории с недостаточным качеством сигнала. Результаты геопространственного моделирования могут быть использованы при [4, 5]: планировании размещения новых базовых станций мобильной связи; оптимизации параметров существующих сетей связи; анализе качества мобильной связи и выявлении зон слабого сигнала; разработке и модернизации телекоммуникационной инфраструктуры; повышении эффективности использования радиочастотного ресурса.

Для регионов со сложным рельефом местности, регионы Кыргызской Республики, применение геоинформационных систем позволяет существенно повысить точность оценки радиопокрытия. Использование цифровых моделей рельефа и пространственного анализа дает возможность учитывать влияние географических факторов на распространение радиосигнала и принимать более обоснованные решения при проектировании мобильных сетей [5, 6].

В ходе проведенного исследования были рассмотрены возможности применения геоинформационных технологий для анализа качества покрытия мобильных сетей с учетом особенностей рельефа и плотности застройки. Показано, что использование методов геопространственного моделирования позволяет учитывать влияние природных и антропогенных факторов на распространение радиосигнала. Проведенный анализ продемонстрировал, что в условиях сложного рельефа формируются зоны ослабленного сигнала и радиотени, что требует применения дополнительных технических решений для обеспечения стабильного качества связи. Использование геоинформационных систем позволяет выявлять такие зоны и разрабатывать рекомендации по оптимальному размещению базовых станций.

Таким образом, применение геоинформационных технологий является эффективным инструментом анализа и оптимизации мобильных сетей. Геопространственное моделирование обеспечивает более точную оценку радиопокрытия и способствует повышению качества мобильных услуг, особенно в регионах со сложными географическими условиями.

Внедрение методов геопространственного анализа при планировании и оптимизации мобильных сетей в Кыргызской Республике может способствовать повышению эффективности развития телекоммуникационной инфраструктуры. Использование геоинформационных технологий позволяет учитывать особенности рельефа территории страны и повышать качество мобильной связи, особенно в горных и труднодоступных районах.

В условиях активного развития цифровой экономики и внедрения технологий 4G и 5G применение геоинформационных систем становится важным инструментом для повышения эффективности управления телекоммуникационными сетями и обеспечения устойчивого развития цифровой инфраструктуры Кыргызстана.

Список литературы:

1. Галкин В. А. Цифровая мобильная радиосвязь. М., 2017. 592 с.
2. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. М.: Эко-Трендз, 2010. 284 с.
3. Рыжков А. Е., Сиверс М. А., Воробьев В. О. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMAX. СПб: Линк, 2012. 226 с.
4. Бугаевский Л. М., Цветков В. Я. Геоинформационные системы. М.: Наука, 2000. 222 с.

5. Сопубеков Н. А. Планирование и оптимизация сетей сотовой связи на основе геоинформационных технологий // Известия Ошского технологического университета. 2024. №1. С. 24-30.

6. Сопубеков Н. А., Таштемир Уулу Т. Жаңы 5G технологиясын кийирүүдөгү өзгөчөлүктөр // Известия Ошского технологического университета. 2024. №3. С. 90-94.

References:

1. Galkin, V. A. (2017). *Tsifrovaya mobil'naya radiosvyaz'*. Moscow. (in Russian).
2. Tikhvinskij, V. O., Terent'ev, S. V., & Yurchuk, A. B. (2010). *Seti mobil'noj svyazi LTE: tekhnologii i arkhitektura*. Moscow. (in Russian).
3. Ryzhkov, A. E., Sivers, M. A., & Vorob'ev, V. O. (2012). *Sistemy i seti radiodostupa 4G: LTE, WiMAX*. St. Petersburg. (in Russian).
4. Bugaevskij, L. M., & Tsvetkov, V. Ya. (2000). *Geoinformatsionnye sistemy*. Moscow. (in Russian).
5. Sopubekov, N. A. (2024). *Planirovanie i optimizatsiya setej sotovoj svyazi na osnove geoinformatsionnykh tekhnologij*. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (1), 24-30. (in Russian).
6. Sopubekov, N. A., Tashtemir Uulu, T. (2024). *Zhаңу Osobennosti nosheniya ustrojstv s tekhnologiej 5G*. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (3), 90-94. (in Kyrgyz).

Поступила в редакцию
05.03.2026 г.

Принята к публикации
15.03.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Сопубеков Н. А., Мойдунов Т. Т., Шарабидин кызы А. Геопространственное моделирование качества покрытия мобильных сетей с учетом рельефа и плотности застройки // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №5. С. 161-165. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/18>

Cite as (APA):

Sopubekov, N., Moidunov, T., & Sharabidin kyzy, A. (2026). Geospatial Modeling of Mobile Network Coverage Considering Terrain and Building Density. *Bulletin of Science and Practice*, 12(5), 161-165. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/18>