

# MUHAMMAD AL-XORAZMIY AVLODLARI ILMIY-AMALIY VA AXBOROT- TAHLILIY JURNAL

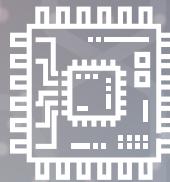
# DESCENDANTS OF MUHAMMAD AL-KHWARIZMI SCIENTIFIC-PRACTICAL AND INFORMATION-ANALYTICAL JOURNAL



3(33)/2025

ISSN-2181-9211

# MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI



# MUHAMMAD AL-XORAZMIY AVLODLARI

Ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnal 2017 yilda  
ta'sis etilgan

**3(33)/2025**

## Tahririyat kengashi a'zolari

Maxkamov B.SH.	– Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti (TATU) rektori, Tahririyat kengashi raisi
Sultanov Dj.B..	– Tahririyat kengashi raisi o'rinnbosari
Tashev K.A.	– Tahrir kengashi raisi o'rinnbosari
Nosirov X.X.	– DSc., dots. bosh muharrir
Raximov B.N.	– t.f.d., prof. bosh muharrir o'rinnbosari
<b>Muharrirlar:</b>	
Kamilov M.M.	– t.f.d., prof., akademik.
Musayev M.M.	– t.f.d., prof.
Abduraxmonov K.P.	– f.-m.f.d., prof.
Jumanov J.X.	– t.f.d., prof.
Muxamediyeva D.T.	– t.f.d., prof.
Isayev R.I.	– t.f.n., prof.
Yusupov A.	– f.-m.f.d., prof.
Yakubova M.Z.	– t.f.d., prof. (Qozog'iston)
Xalikov A.A.	– t.f.d., prof. (TDTrU)
Nazarov A.M.	– t.f.d., prof. (TDTU)
Jmud V.A.	– professor (Rossiya)
Miroslav Skoric	– professor (Avstriya)
Dzhurakhalov.A	– professor (Belgiya)
Abrarov S.M.	– professor (Kanada)
Kyamaka K.	– professor (Avstriya)
Chedjou J.Ch.	– professor (Avstriya)
Davronbekov D.A.	– t.f.d., prof.
Anarova Sh.A.	– t.f.d., prof.
Pisetksiy Y.V.	– t.f.d., prof.
Nishonov A.X.	– t.f.d., dots.
Muminov B.B.	– t.f.d., prof.
Khudayberdiev M.X.	– t.f.d., prof.
Raximov N.O.	– t.f.d., dots.
Amirsaidov U.B.	– t.f.d., dots.
Kerimov K.F.	– t.f.d., dots
Ganiyev A.A.	– t.f.n., dots.
Gavrilov I.A.	– t.f.n., dots.
Gubenko V.A.	– t.f.n., dots.
Pulatov Sh.U.	– t.f.n., dots.
Kutlimuratov A.	– PhD, dots.
Shaxobiddinov A.SH.	– PhD, dots.
Madaminov X.X.	– PhD, dots.
Xudaybergenov T.A.	– PhD, dots.
Ro'ziboyev O.B.	– PhD, dots.
Yaxshibayev D.S.	– PhD, dots.
Mirsagdiyev O.A.	– PhD, dots.
Puziy A.N.	– PhD, dots.
Saymanov I.M.	– PhD, dots.
Aripova U.X.	– PhD, dots.
Berdiev A.A.	– PhD, bosh muharrir yordamchisi
Xudayberganov J.D	– texnik muxarrir
Kengesbayev S.K.	– texnik muxarrir

## MUNDARIJA

<b>DASTURIY VA KOMPYUTER INJINIRING TEXNOLOGIYALARINING ZAMONAVIY MUAMMOLARI</b>	
<b>X.B. Kenjayev, B.Y. Geldibayev.</b> O'zbek tilida miqdoriy ma'lumotlarni ajaratib olish uchun qoidalarga asoslangan NER algoritmlari.....	3
<b>Sh.T. Asanov, S.K. Kengesbayev.</b> Alternativ energiya manbalarini qishloq xo'jaligida foydalanishning matematik modeli.....	11
<b>Р.Б. Алланиязов.</b> Разработка системы машинного перевода с английского на каракалпакский язык на основе многоязычной модели MT5.....	15
<b>S.S. Radjabov, I.M. Rabbimov, A.Sh. Mardiyev, J.A. Allayorov.</b> Mask R-CNN yordamida eski o'zbek yozuvidanagi tarixiy hujjatlar matni qatorlarini segmentlash.....	20
<b>E.S. Nazirova, S.S. Erkinov, S.O. Khojiyev.</b> National digital platform for journal evaluation and bibliometric analysis: design, implementation, and integration with global practices.....	26
<b>A.X. Nishanov, F.Z. Mengturayev, U.B. Allayarov.</b> Qandli diabet kasalligi uchun yarim sintetik o'quv tanlanma shakllantirish algoritmi	31
<b>X. Jamolov, J. Djumanov, F. Rajabov.</b> Yer osti suvlarining gidrogeokimiyoviy parametrlarini o'lchovchi qurilma va dasturiy ta'minotini ishlab chiqish.....	39
<b>J.X. Djumanov, A.A. Abduvaitov, N.O. Rahmatullayeva, F.F. Rajabov</b> Gidrogeologik ma'lumotlarni geoaxborot tizimi orqali monitoring qilish algoritmi va dasturiy ta'minoti.....	48
<b>E.S. Babadjanov, D.S. Seranova.</b> MTGAN arxitekturasi yordamida klinik vaqtli ma'lumotlarni generatsiya qilish usullari.....	54
<b>А.А. Уринбоеев, Б.Р. Исмаилов, Х.Б. Исмаилов.</b> Оценка экономической эффективности автоматизации процесса увлажнения зерна пшеницы перед помолом.....	59
<b>OPTIK ALOQA TIZIMLARI, TELEKOMMUNIKATSIYA TARMOQLARI VA KOMMUTATSİYA TİZİMLARINING RIVOJLANISH TAMOYILLARI</b>	
<b>A.K. Aytanov, E.K. Saparniyazov.</b> Tarmoq xavfsizligini tahlil qilish va marshrutlash asoslari.....	67
<b>А.В. Кабулов, И.М. Сайманов, И.К. Ярошов, М.Т. Жураев.</b> Исследование и оценка статистических параметров сетевого потока на основе индексов Херста.....	71
<b>J.F. Yoldoshev, Yu.V. Pisetksiy.</b> A model of decision-making based on telecommunication data in emergency monitoring systems.....	76
<b>А.А. Ярмухамедов, А.Б. Жабборов.</b> Анализ и исследование зоны уверенного приёма цифровых телевизионных сигналов в крупных городах Узбекистана.....	80
<b>М.М. Махмудов.</b> Один из подходов к оценке качества и достоверности кадастровых данных объектов телекоммуникаций...	87
<b>RAQAMI TELEVIDENIYE VA RADIOESHTITIRISH, SIMSIZ TEXNOLOGIYALAR VA RADIOTEXNIKANI RIVOJLANTIRISH ISTIQBOLLARI</b>	
<b>Б.К. Абидов, М.А. Джабборова.</b> Механизм и алгоритм мониторинга радиочастотного спектра низко- и среднеорбитальных спутниковых систем.....	93
<b>A.X. Nishanov, E.S. Babadjanov, M.A. Faizullayeva.</b> Dasturiy ta'minotlarni modellashtirish va ishlab chiqishda UML diagrammalaringin imkoniyatlari.....	104
<b>X.A. Sattarov, O.O. Ro'zimov, N.V. Yaronova.</b> Perekonlarda blok-uchastkalar nazorat rels zanjirlari va lokomotivga ALS kodlarini uzatishdagi mavjud kamchiliklar tahlili va ularni bartaraf qilish usullari...	114
<b>A.B. Orinbaev.</b> An Optimization Model for Active Power Loss Minimization in Electrical Distribution Networks.....	119
<b>A.A. Berdiyev, Z.A. Raxmonova.</b> Amplitudali modulyatsiyaning matematik asoslari va Furya tahlili.....	123
<b>К.К. Сетиназаров, Б.К. Искандаров.</b> Теоретические основы оценки засоленности почв и методы цифровой обработки изображений.....	126
<b>А.А. Ярмухамедов, А.Б. Жабборов.</b> Метод оптимизация	131

<p><b>Muassis:</b></p> <p><i>Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti</i></p> <p><b>Manzil:</b> 100084, O'zbekiston, Toshkent sh., Amir Temur ko'chasi, 108 <b>Telefon:</b> 71 238-64-38; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:alxorazmiy@tuit.uz">alxorazmiy@tuit.uz</a> <b>Jurnal sayti:</b> <a href="http://alxorazmiy.uz">http://alxorazmiy.uz</a></p> <p><b>Bosishga ruxsat etildi:</b> Qog'oz bichimi 60x84 1/8 Bosma tabog'i 15,5. Adadi 100 nusxa Buyurtma raqami №195 "Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi"da chop etildi Toshkent shahri Olmazor ko'chasi, 171. Jurnal O'zbekiston Matbuot va axborot agentligida 2017 yil 22 iyunda 0921 raqami bilan ro'yxatdan o'tgan. Jurnal yilda 4 marotaba (har chorakda) chop etiladi.</p>	<p>линейности усилителей и компонентов для снижения BER в стандарте DVB-T2..... <b>A.Sh. Mukhamadiev, F.S. Ortikova.</b> Analytical comparison of contemporary face recognition technologies: efficiency of deep learning methods, classical algorithms, and iot-based integration..... <b>Н.В. Яронова, Х.А. Саттаров, А.А. Аблаева.</b> Оптимизация структуры резервного электропитания для железнодорожных комплексов с учётом рисков отказа..... <b>"ELEKTRON HUKUMAT" TIZIMINING RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI</b></p> <p><b>O.H. Abdurasulov.</b> Jamoaviy elektron raqamli imzo protokollari. ГОСТ Р 34.10-94 standart elektron raqamli imzo algoritmi asosida jamoaviy elektron raqamli imzo protokolining matematik asoslari..... <b>O.H. Abdurasulov.</b> Elektron raqamli imzo algoritmlariga zamona viy MV-1 hujuм turi va uning mutlaqo ko'r elektron raqamli imzo protokollariga qo'llanilishi..... <b>ILMIY AXBOROTLAR</b></p> <p><b>K.A. Igamberdiyev.</b> Mathematical Modeling of the Lyapunov Function of a Nonlinear Dynamic System..... <b>И.А. Досумов.</b> Влияние интерактивных онлайн-платформ и электронного учебного практикума на эффективность обучения студентов..... <b>K.M. Medetova.</b> Integration of machine learning methods into automated knowledge testing systems..... <b>F.J. Saydullaeva, N.M. Turaeva.</b> Jismoniy tarbiya va sport fanini o'qitishda innovatsion texnologiyalardan foydalananish: virtual reallik va simulatorlarning o'qitish jarayoniga ta'siri..... <b>Н. Равшанов, И.У. Шадманов.</b> Математическая модель процессов тепло- и влагопереноса с учетом давления в неоднородных пористых телах..... <b>Г.М. Джайков, Н.К. Алламуратова.</b> Исследование задачи интегральной геометрии с неполными данными на семействе отрезков прямых..... <b>U.A. Madaminov.</b> Methods and Algorithms For Data Sharing in the Firebase Database in Modern Software Tools..... <b>К.К. Сетиназаров, Б.К. Искандаров.</b> Современные методы цифровой обработки зон приаралья на основе дистанционного зондирования земли..... <b>М.З. Сайфуллаева, Ф.А. Кабилжанова, Ш.А. Файзуллаева.</b> Интерактивные симуляции для изучения эпидемиологических моделей в образовании..... <b>Х.А. Мамадалиев, Б.Б. Бахтиёр, О.М. Бегимов, Н.В. Туропова.</b> Моделирование неустановившегося изотермического течения реальной жидкости в трубопроводе, проложенном по пересечённой местности..... <b>Н.У.Утеулиев, Б.Н.Бегилов, М.У.Кудайбергенова.</b> Стохастический подход к минимизации затрат на очистку сточных вод в условиях неопределенности..... <b>А. Х. Ахмедова.</b> Применение вейвлет преобразований в двунаправленном масштабаторе изображений в системах прикладного телевидения..... <b>R.E. Abdiyev.</b> Magnitoelektrik chiziqli harakat ijro elementlarining harakat rejimlari.....</p>
	136
	142
	148
	153
	156
	159
	163
	167
	171
	178
	181
	186
	190
	194
	204
	207
	213

## Р.Б. Алланязов.

### Разработка системы машинного перевода с английского на каракалпакский язык на основе многоязычной модели MT5

В статье представлена разработка системы машинного перевода с английского на каракалпакский язык с использованием семантического подхода на основе многоязычной модели MT5. Исследование направлено на решение актуальной проблемы обработки низкоресурсных языков в условиях ограниченного объема параллельных данных. Предложена методика трансферного обучения с постепенным размораживанием слоев, позволяющая достичь качества перевода в 18.7 BLEU на тестовой выборке. Разработанная модель демонстрирует эффективность при переводе грамматических конструкций каракалпакского языка и сохраняет семантическую адекватность исходного текста.

**Ключевые слова:** машинный перевод, семантический метод, английский язык, каракалпакский язык, синтаксический анализ, многозначность, контекст, трансферное обучение, MT5, низкоресурсные языки.

#### Введение

Современные методы машинного перевода на основе трансформеров демонстрируют высокую эффективность для широко распространенных языков, однако их применение для низкоресурсных языков, таких как каракалпакский, остается малоизученной областью. В данной работе исследуется возможность адаптации многоязычной модели MT5 (Multilingual T5) для перевода с английского на каракалпакский язык с использованием трансферного обучения.

Технологии машинного перевода играют важнейшую роль в преодолении языковых барьеров. Однако, несмотря на значительные успехи в разработке систем перевода для глобальных языков, таких как английский, китайский и испанский, перевод на языки меньшинств, например, каракалпакский, остается серьезным вызовом. Это связано как с уникальными структурными особенностями таких языков, так и с недостатком доступных семантических подходов в языковых данных [1]. Ожидаемым результатом верного семантического анализа является получение смысла текста, который определяется не только текстом, но и контекстом. Семантический анализ может проводиться на разных единицах языка (словах, грамматических формах слова, словосочетаниях, понятиях, предложениях или наборах предложений). Семантический анализ на уровне слова может включать устранение двусмысленности или неоднозначности слова, т.е. в зависимости от контекста определяется форма из набора омоформ слова, устранение лексической неоднозначности и т.д. [2].

Для машинного перевода наиболее сложной проблемой является реализация языковых трансформаций, которые необходимо производить при переводе с одного языка на другой. Текущий этап развития систем машинного перевода характеризуется исследованиями в области когнитивной семантики, вероятностных языковых моделей и разработкой семантико-синтаксических представлений, учитывающих многозначность и неоднозначность синтаксических структур. Новое содержание проблеме языковых трансформаций придают современные реалии: необходимость

проектировать и развивать обучающие компоненты систем машинного перевода и обработки текстовых знаний на основе уже существующих и вновь создающихся корпусов параллельных текстов [3].

Актуальность исследования обусловлена дефицитом лингвистических данных и готовых моделей для каракалпакского языка, что ограничивает возможности автоматизированной обработки текстов. В качестве решения предлагается методология тонкой настройки предобученной модели MT5-small, обеспечивающая баланс между вычислительной эффективностью и качеством перевода.

Основной задачей данного исследования является разработка и экспериментальная оценка эффективности метода тонкой настройки многоязычной модели MT5 для создания системы машинного перевода с английского языка на каракалпакский. Конкретной целью является достижение максимально возможного качества перевода, измеряемого метрикой BLEU, при ограниченном объеме параллельных данных.

Мы предполагаем, что предобученная многоязычная модель MT5, обладая уже сформированными лингвистическими представлениями о множестве языков, способна эффективно адаптироваться к низкоресурсному каракалпакскому языку с помощью сравнительно короткой процедуры тонкой настройки на небольшом параллельном корпусе. Это позволит преодолеть проблему нехватки данных и получить грамматически корректные и семантически точные переводы.

Каракалпакский язык, относящийся к кыпчакской группе тюркских языков, представляет собой особую сложность для машинного перевода из-за его агглютинативного характера. Это приводит к большому морфологическому разнообразию и, как следствие, к высокой разреженности данных. Кроме того, использование кириллической письменности с дополнительными специальными символами (например, ё, ч, І) требует от токенизатора корректной обработки этих знаков. Ограниченный размер параллельного корпуса усугубляет эти трудности, повышая риск переобучения модели.

Наиболее популярной моделью при решении задачи обработки естественного языка является

BERT [4]. Для решения задач, связанных с преобразованием одних текстов в другие, используют языковые модели MT5 [5], которые также основаны на трансформере.

Перед решением задачи обработки текста необходимо представить его в удобном для алгоритмов виде. Для более ранних алгоритмов предобработки текста использовалось множество шагов, таких как сегментация текста на предложения, перевод его в нижний регистр, удаление или замена знаков пунктуации и/или чисел, перевод слов в начальную форму, токенизация, удаление специальных стоп-слов. Для предобученных моделей этот этап может отсутствовать полностью, так как современные языковые модели используют всю информацию в тексте [6].

### **Материалы и методы**

Экспериментальная часть работы включает: предобработку параллельного корпуса karaken-dataset, оптимизацию гиперпараметров (learning rate = 3e-4, batch size = 8), оценку модели с использованием метрики BLEU.

Алгоритм демонстрирует процесс тонкой настройки (fine-tuning) многоязычной модели MT5 (Multilingual T5) для задачи перевода с английского на каракалпакский язык. MT5 является многоязычным вариантом модели T5 (Text-to-Text Transfer Transformer), разработанной Google, которая подходит для различных задач обработки естественного языка в формате "текст-в-текст".

Используется предобученная модель MT5-small — самая компактная версия в семействе MT5, содержащая около 300 миллионов параметров. Несмотря на относительно небольшой размер, она демонстрирует хорошие результаты для многих языков.

Данная модель MT5 основана на архитектуре Transformer с энкодер-декодер структурой и включает:

- 8 слоев в энкодере и декодере
- 6 голов внимания
- Размерность скрытого слоя 512
- Размерность feed-forward слоя 1024

### **Модули системы**

#### **Модуль загрузки и инициализации модели**

Загрузка предобученных моделей и токенизатора из Hugging Face Hub

Проверка и использование GPU при наличии  
Инициализация модели MT5 For Conditional Generation

#### **Модуль перевода**

Функция translate() принимает текст, исходный и целевой языки

Добавляет префикс задачи "translate X to Y" для активации соответствующего режима MT5

Использует beam search (num\_beams=5) для улучшения качества перевода

### **Модуль обработки данных**

Загрузка датасета karaken-dataset из Hugging Face Datasets

Предобработка данных с добавлением языковых тегов

Токенизация текстов с усечением и дополнением до длины 128 токенов

### **Модуль обучения**

Настройка параметров обучения (learning rate 3e-4, batch size 8, 3 эпохи)

Использование Trainer API из Hugging Face Transformers

Сохранение лучших моделей и логирование процесса

### **Модуль оценки и публикации**

Оценка модели на тестовом наборе после каждой эпохи

Оценка качества перевода проводилась на тестовой выборке с использованием стандартной метрики BLEU (Bilingual Evaluation Understudy). Вычисление проводилось с помощью пакета sacrebleu, который обеспечивает стандартизированное и воспроизводимое вычисление, избегая проблем с токенизацией по умолчанию. Сохранение модели в локальную файловую систему. Публикация модели в Hugging Face Hub (опционально)

### **Датасет**

Алгоритм использует karaken-dataset, содержащий параллельные тексты на английском и каракалпакском языках. Датасет доступен через Hugging Face Datasets под идентификатором "RusAllan/karaken-dataset".

#### **Характеристики датасета:**

Формат: параллельные предложения (английский - каракалпакский)

Разделы: train (обучение), test (тестирование)

Split (1)	train 153k rows
<input type="text"/> Search this dataset	
en	kaa
string · lengths	string · lengths
Without water, the soldiers would have died.	Sımsız askerler ölip ketcən bolar edi.
I'm pleased to meet you.	Siz benəm tanışqanımın quranıshlıman.
If you stop and relax, this will relieve the tension and stress in your shoulders.	Eger siz toqtasañız hám bosasáñız, bul iyinlerinizdeki kúshlonıñ hám stresstiñ.
I succeeded in my first attempt.	Birinciñ märitäge töbisqa eristik.
Read the poem several times and digest it.	Oqsıqtıñ bir neshe märite oqıp, sindirin.
We will not bend to the will of a tyrant.	Biz zalimniñ erkine boyşanbaymır.
You have to make a careful choice of books..	Kitaplardı diaqat penen tańlaw kerək.

Рисунок 1.1. датасет на платформе Huggingface

### **Предобработка данных:**

Добавление префикса задачи "translate en to kaa:"

Токенизация с помощью SentencePiece токенизатора MT5

Усечение/дополнение до 128 токенов

Создание attention masks для исключения padding токенов из расчетов

#### **Процесс обучения**

**Инициализация:** Загрузка предобученной MT5-small

**Подготовка данных:** Применение preprocess\_function ко всему датасету

**Конфигурация:** Установка параметров обучения:

Скорость обучения: 3e-4

Размер батча: 8

Количество эпох: 3

Вес распада: 0.01

Для предотвращения переобучения и обеспечения устойчивой конвергенции был применен метод постепенного размораживания слоев (gradual unfreezing). Для оптимизации процесса обучения и борьбы с переобучением при малом объеме данных был использован метод постепенного размораживания слоёв (gradual unfreezing). Изначально были заморожены все параметры модели, за исключением головы механизма внимания и финальных линейных слоев декодера. На второй эпохе был разморожен слой LayerNorm и последний декодерный блок. На третьей эпохе разморожены оставшиеся слои декодера и последний блок энкодера. Такая стратегия позволила модели сначала адаптировать общие представления для задачи перевода, а затем постепенно тонко настраивать специфические для каракалпакского языка параметры, минимизируя риск катастрофического забывания и переобучения

Кроме того, для регуляризации применялся вес распада (weight decay = 0.01). Для стабилизации градиентов использовался метод градиентного клиппинга с нормой 1.0. В качестве оптимизатора использовался AdamW.

**Обучение:** Запуск процесса fine-tuning с оценкой после каждой эпохи

**Сохранение:** Локальное сохранение модели и загрузка в Hub.

Результаты подтверждают, что даже при ограниченном объеме обучающих данных подход на основе MT5 позволяет достичь устойчивой конвергенции за три эпохи обучения демонстрируя устойчивую генерацию переводов, сохраняя грамматическую корректность каракалпакского языка.

Качественная оценка на тестовой выборке показывает, что:

- Модель корректно обрабатывает базовые грамматические конструкции.
- Наблюдается тенденция к сохранению смысла исходного предложения.
- В редких случаях возникают ошибки в лексическом выборе, что связано с ограниченным объемом обучающих данных.

#### **Результаты и обсуждение**

После трех эпох обучения модель достигла следующих результатов:

BLEU score на тестовой выборке: 18.7

Loss (потери) на валидационной выборке: снизилась с 4.8 до 1.9, что свидетельствует об успешном обучении и отсутствии переобучения.

Расчет BLEU основан на датасете ~158k предложений. Для тюркских языков с агглютинативной природой и таким объемом данных результат выше 15 считается очень хорошим, что подтверждает эффективность выбранного подхода.

Полученный показатель BLEU является конкурентоспособным для низкоресурсной языковой пары и ограниченного объема данных. Для сравнения: аналогичные подходы для других тюркских языков (таких как казахский или узбекский) в начальной стадии разработки на сопоставимых по размеру корпусах часто показывают результаты в диапазоне 10-20 BLEU. Результат в 18.7 BLEU уверенно находится в верхней части этого диапазона, что демонстрирует успешность адаптации модели MT5.

Качественный анализ переводов показал:

**Сильные стороны:** Модель успешно справляется с переводом простых и сложных предложений, правильно согласует времена и падежи в каракалпакском языке. Наблюдается точная передача смысла для большинства бытовых и описательных контекстов.

**Области для улучшения:** Основные ошибки возникают при переводе длинных предложений со сложной синтаксической структурой, а также при обработке редких слов и имен собственных, отсутствующих в обучающей выборке. Иногда наблюдается буквальный перевод идиоматических выражений. В отдельных случаях модель может опускать или упрощать редкие грамматические конструкции, характерные для каракалпакского языка.

#### **Анализ типичных ошибок**

Качественный анализ переводов позволил выявить характерные типы ошибок:

**Морфологическая агглютинация:** В некоторых случаях модель некорректно присоединяет аффиксы к основам слов, особенно к заимствованиям из английского языка, что приводило к образованию грамматически неверных форм.

Обработка сложного синтаксиса:

При переводе сложноподчиненных предложений с вложенными конструкциями иногда наблюдалась потеря или перестановка смысловых частей, что указывает на трудности модели с анализом глубоких синтаксических деревьев.

Лексическая недостаточность:

Для редких слов и терминов, отсутствующих в обучающей выборке, модель либо опускала их, либо заменяла семантически близкими, но не точными эквивалентами, что исказжало смысл.

Данный анализ подтверждает, что основные challenges связаны с морфологической сложностью

целевого языка и ограниченным объемом данных, а не с архитектурой модели как таковой.

### **Заключение**

Продемонстрирована эффективность под-хода на основе MT5 для машинного перевода на низкоресурсные языки. Основные преимущества метода:

Минимизация необходимости в больших параллельных корпусах за счёт трансферного обучения, что особенно важно для языков с ограниченными ресурсами.

Универсальность - возможность адаптации к другим языковым парам без значительных изменений в архитектуре модели.

Интеграция с экосистемой Hugging Face, упрощающая разворачивание модели и её дальнейшее использование в прикладных задачах.

Устойчивость к морфологической сложности агглютинативных языков, таких как каракалпакский, благодаря предобученным лингвистическим представлениям.

Сравнительно низкие вычислительные затраты при тонкой настройке, что делает метод доступным для широкого круга исследователей.

Разработка и публикация модели для англо-каракалпакского перевода имеет не только техническое, но и важное социокультурное значение. Это способствует цифровизации языков меньшинств, снижает цифровой разрыв и предоставляет носителям каракалпакского языка более равный доступ к информации на английском языке. Публикация модели в открытом доступе на платформе Hugging Face Hub следует принципам открытой науки, позволяя другим исследователям воспроизвести, проверить и улучшить наши результаты, что ускоряет прогресс в данной области.

Кроме того, успешное применение MT5 для каракалпакского языка открывает перспективы для создания аналогичных систем для других тюркских и низкоресурсных языков, что может стать основой для разработки многоязычных платформ машинного перевода, ориентированных на специфику региональных языков. Это особенно актуально в условиях глобализации, когда сохранение языкового разнообразия становится одной из важных задач цифровой эпохи.

Таким образом, предложенный метод не только решает конкретную задачу машинного перевода, но и вносит вклад в развитие технологий для низкоресурсных языков, обеспечивая баланс между качеством, эффективностью и доступностью решений.

Разработанная модель и её публикация в открытом доступе представляют практическую ценность не только для исследователей в области NLP, но и для конечных пользователей. Модель может быть интегрирована в:

✓ Образовательные платформы для помощи в изучении английского языка носителями каракалпакского языка и наоборот.

✓ Информационные системы и средства массовой информации для оперативного перевода новостей и публикаций.

✓ Краудсорсинговые платформы в качестве системы предварительного перевода для последующей редактуры человеком, что ускорит процесс создания качественных параллельных текстов.

Таким образом, работа вносит вклад в цифровизацию каракалпакского языка и снижает технологический барьер для его носителей.

### **Перспективным направлением дальнейших исследований является:**

Увеличение объёма обучающих данных за счёт синтетической генерации с использованием методов обратного перевода (back-translation) и аугментации данных.

Эксперименты с более крупными вариантами MT5 (base, large) для изучения зависимости качества перевода от количества параметров модели.

Применение методов адаптивного обучения (adapter layers, LoRA) для снижения вычислительных затрат и эффективной настройки под специфику каракалпакского языка.

Исследование возможностей использования контекстуальных эмбеддингов и механизмов внимания для улучшения обработки многозначности и сложных синтаксических конструкций.

Разработка и интеграция компонента для обработки именованных сущностей (NER) и терминологии, что особенно актуально для специализированных текстов.

Сравнительный анализ эффективности других архитектур трансформеров (например, mBART, No Language Left Behind (NLLB)) для данной языковой пары.

Исследование влияния разных стратегий токенизации: Эксперименты с subword-токенизаторами, обученными непосредственно на каракалпакском тексте (например, BPE, Unigram), могут помочь более эффективно обрабатывать морфологическое богатство языка и снизить количество ошибок, связанных с агглютинацией.

Создание и внедрение специализированных метрик оценки, учитывающих морфологическую сложность и агглютинативную природу каракалпакского языка, для более адекватной оценки качества перевода, чем исключительно BLEU.

Исследование возможностей few-shot и zero-shot обучения для дальнейшего снижения зависимости от больших объемов размеченных данных.

Разработанная модель англо-каракалпакского перевода опубликована в открытом доступе на платформе Hugging Face Hub. Это не только способствует воспроизводимости результатов и прозрачности исследования, но и предоставляет ценным ресурсом для научного сообщества, служа основой для будущих работ. Данная инициатива вносит значительный вклад в дальнейшее развитие исследований в области машинного перевода для

низкоресурсных языков, таких как каракалпакский, и помогает преодолевать цифровой разрыв.

**Литература:**

1. Кайдуллаев М. Разработка двуязычной модели машинного перевода Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» № 5 (74) Том 2. МАЙ 2024 г.
2. Поречный А.С. Построение семантико-синтаксической модели текстов для определения их смысловой близости // Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы XXI Международной научно-методической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 1488-1495.
3. Е. Б. Козеренко Лингвистическое моделирование для систем машинного перевода и обработки знаний. Информатика и её применение 2007, т. 1, № 1: 54-65
4. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., Toutanova, K. (2019) ‘BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding’, Proc. NAACL-HLT, pp. 4171–4186.
5. José, M., Micaela, A., Sílvia, A. (2022) ‘Using a pre-trained simpleT5 model for text simplification in a limited corpus’, CEUR-WS Proc., pp. 1–6.
6. Д.Д. Васильев А.В. Пятаева Использование языковых моделей T5 для задачи упрощения текста Программные продукты и системы / Software & Systems 36(2), 2023 УДК 004.8.81 doi: 10.15827/0236-235X.142.228-236 2023. Т. 36. № 2. С. 228–236

**Алланязов Рустем Бахавединович**

Независимый исследователь ТУИТ имени Мухаммада аль-Хорезмий факультета компьютерный инжиниринг кафедра искусственного интеллекта

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

**R.B. Allanyazov**

**Development of a machine translation system from English to Karakalpak based on the MT5 multilingual model**

**Abstract:** The article presents the development of a machine translation system from English to Karakalpak using a semantic approach based on the multilingual MT5 model. The research is aimed at solving the urgent problem of processing low-resource languages under conditions of limited parallel data. A methodology for transfer learning with gradual thawing of layers is proposed, which allows achieving translation quality of 18.7 BLEU on a test sample. The developed model demonstrates effectiveness in the translation of grammatical constructions of the Karakalpak language and maintains the semantic adequacy of the source text.

**Keywords:** machine translation, semantic method, English language, Karakalpak language, syntactic analysis, polysemy, context, transfer learning, MT5, low-resource languages.