

МРНТИ 14.01.75

<https://doi.org/10.26577/JES88320268>**К. Нурумов^{1*}**, **Д. Нұрмұхамед²**, **Ә. Тарақбай²**¹Независимый исследователь²АО «Национальный центр исследований и оценки образования «Талдау»
имени Ахмет Байтұрсынұлы», Астана, Казахстан

*e-mail: k.nurumov@gmail.com

О ПОЛЬЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ДАННЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ АНАЛИТИКЕ

В статье рассматривается полезность использования спутниковых снимков ночного освещения в качестве альтернативных и доступных данных в сфере образования. Используя снимки Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), ночное освещение было измерено в радиусе 1 километра вокруг целевых школ и использовано для прогнозирования строительства школ и объяснения результатов читательской, функциональной грамотности обучающихся на основе международного исследования PISA Based Test for Schools (PBTS-2024). Для прогнозирования строительства школ была использована модель случайного леса с историческими данными ночного освещения за 2012–2024 гг., в то время, как для объяснения читательской грамотности – мультиуровневое моделирование с использованием кросс-секционных данных ночного освещения за 2024 год.

Результаты исследования показали, что динамика изменения ночного освещения является одной из полезных переменных в прогнозировании года строительства школы. В тоже время ночное освещение имеет статистически значимый эффект на результаты читательской функциональной грамотности обучающихся. Субстантивно, данные результаты показывают, что экономическая активность и ее динамика изменения вокруг школы являются важными факторами, сигнализирующими потенциальное место строительства школ, а также оказывающими позитивное влияние на образовательные достижения учащихся.

Данное исследование является одним из первых примеров использования альтернативных данных, таких как спутниковые данные ночного освещения, в отечественной литературе в сфере образования. В практическом плане, использование данных ночного освещения может быть использовано в рамках задачи прогнозирования строительства новых школ. Кроме того, использование ночного освещения в качестве дополнительного контекстуального индикатора социально-экономического статуса может быть полезно при разработке образовательных политик, направленных на снижение межшкольного неравенства.

Ключевые слова: школьная инфраструктура, спутниковые данные, ночное освещение, читательская функциональная грамотность, прогнозирование, строительство новых школ, мультиуровневое моделирование.

K. Nurumov^{1*}, D. Nurmukhamed², A. Tarakbay²¹Independent researcher²JSC "Akhmet Baitursynuly National Centre for Research and Evaluation
of Education "Taldau", Astana, Kazakhstan

*e-mail: k.nurumov@gmail.com

On the Benefits of Using Satellite Imagery as an Alternative Data Source in Educational Analytics

This article examines the usefulness of using satellite images of nighttime light as alternative, accessible data in the field of education. Using images from the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), the nighttime light was measured within a 1-kilometer radius around the target schools and used to predict school construction and explain the results of students' reading functional literacy based on the international PISA Based Test for Schools (PBTS-2024) study.

A random forest model with historical nighttime light data for 2012-2024 was used to predict school construction, while multilevel modeling using cross-sectional nighttime light data for 2024 was used to explain the reading literacy.

The results of the study showed that the trend of nighttime light can be useful in predicting the year of school construction. At the same time, nighttime light has a statistically significant effect on the results

of students' reading functional literacy. Substantively, these results show that economic activity and its dynamics around schools are important factors indicating potential locations for school construction, as well as having a positive effect on students' educational outcomes.

Thus, this study is one of the first examples of the use of alternative data, such as satellite imagery on nighttime light, in the national literature in the field of education. In practical terms, the use of nighttime light data

can be used as part of the task of predicting the construction of new schools. In addition, the use of nighttime light as an additional contextual indicator of socio-economic status may be useful in developing educational policies aimed at reducing school inequality.

Keywords: school infrastructure, satellite data, night lighting, functional literacy, forecasting, construction of new schools, multilevel modeling.

К. Нурумов^{1*}, Д. Нұрмұхамед², Ә. Тарақбай²

¹Тәуелсіз зерттеуші

²«Ахмет Байтұрсынұлы атындағы «Талдау» ұлттық зерттеулер және білімді бағалау орталығы» АҚ, Астана, Қазақстан

*e-mail: k.nurumov@gmail.com

Білім беру аналитикасында деректердің баламалы көзі ретінде спутниктік суреттерді пайдаланудың артықшылықтары туралы

Бұл мақалада білім беру саласындағы балама және қолжетімді деректер ретінде түнгі жарықтандырудың спутниктік суреттері қарастырылады. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) суреттерін пайдалана отырып, таңдалған мектептердің айналасында 1 шақырым радиуста түнгі жарықтандыру өлшенді. Бұдан әрі деректер мектептердің құрылысын болжау және PISA Based Test For Schools (PBTFS-2024) халықаралық зерттеуі негізінде оқушылардың оқу, функционалдық сауаттылығының нәтижелерін түсіндіру үшін пайдаланылды.

Мектептердің құрылысын болжау үшін 2012–2024 жылдардағы тарихи түнгі жарықтандыру деректері бар кездейсоқ орман моделі пайдаланылды, ал оқу сауаттылығын түсіндіру үшін 2024 жылғы түнгі жарықтандырудың кросс – секциялық деректерін пайдалана отырып, көп деңгейлі модельдеу қолданылды.

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес түнгі жарықтың өзгеру динамикасы мектеп құрылысының жылын болжайтын айнымалылардың бірі болып табылады. Сонымен қатар түнгі жарықтандыру айнымалысы білім алушылардың оқу сауаттылығы нәтижелерімен статистикалық тұрғыдан мәнді байланыс көрсетеді. Алынған нәтижелер мектеп орналасқан аумақтағы экономикалық белсенділік деңгейі мен оның динамикасы мектептерді орналастыру үшін қолайлы аумақтарды айқындауға мүмкіндік беретін маңызды көрсеткіштер екенін көрсетеді. Сонымен қатар бұл көрсеткіштер оқушылардың білім жетістіктерімен оң байланысқа ие.

Осылайша, бұл зерттеу білім беру саласындағы отандық әдебиеттерде түнгі жарықтандырудың спутниктік деректері сияқты балама деректерді пайдаланудың алғашқы мысалдарының бірі болып табылады. Практикалық тұрғыдан алғанда, түнгі жарықтандыру деректерін пайдалану жаңа мектептердің құрылысын болжау үшін пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар түнгі жарықтандыруды әлеуметтік-экономикалық мәртебенің қосымша контекстік индикаторы ретінде пайдалану мектепаралық теңсіздікті төмендетуге бағытталған білім беру саясатына пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: мектеп инфрақұрылымы, спутниктік деректер, түнгі жарықтандыру, оқу функционалдық сауаттылығы, болжау, жаңа мектептер салу, көп деңгейлі модельдеу.

Введение

Снимки ночного освещения представляют собой доступный источник информации об уровне и динамике экономической активности, урбанизации и инфраструктурного развития. Интенсивность ночного освещения широко используется, как прокси-показатель социально-экономических процессов, особенно в регионах с ограниченным качеством официальной статистики, позволяя проводить анализ с использо-

ванием кросс-секционных и исторических данных (Аддисон и Стюарт, 2015; Мелландер и др., 2015; Чжоу и др., 2015; Левин и др., 2020; Гибсон и др., 2021). В частности, в качестве прокси индикатора ночное освещение коррелирует с такими экономическими показателями, как ВВП и коэффициент неравенства Gini на межстрановом, страновом и региональном уровнях (Долл и др., 2006; Хендерсон и др., 2011; Мелландер и др., 2015; Вайдманн&Тёниссен, 2021). Помимо этого, ночное освещение объясняет вариацию в

таких показателях человеческого развития, как детская смертность, уровень образования, а также образовательное неравенство (Брудерле & Ходлер, 2018; Ци и др., 2021).

Одной из особенностей использования данных ночного освещения в исследованиях связанных с человеческим развитием, является их комбинирование с популяционной статистикой и опросными данными (Брудерле & Ходлер, 2018; Вайдманн & Тёниссен, 2021). Такой подход позволяет получить более точные комбинированные индикаторы развития, нивелировать шум в спутниковых данных, полученный из-за атмосферных явлений (пр., высокая облачность), а также обеспечить более всесторонний охват измерения.

Наиболее распространёнными источниками данных ночного освещения являются спутниковые системы DMSP-OLS (Defense Meteorological Satellite Program – Operational Linescan System) и VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), фиксирующие интенсивность ночного освещения на поверхности Земли и позволяющие получать регулярные изображения в высоком разрешении. Изображения систем DMSP-OLS широко использовались в ранних исследованиях благодаря их длительному временному охвату, однако обладали рядом ограничений, включая низкое пространственное разрешение, высокую зашумленность, а также ввиду особенностей обработки зарегистрированный источник свечения, приписывался объектам отличным от фактического источника (Гибсон и др., 2021). В отличие от них, изображения VIIRS обеспечивают более высокое пространственное разрешение и меньший уровень шума (Элвидж и др., 2013). Эти различия делают VIIRS более подходящим источником данных для анализа развития и неравенства в образовании на субнациональном (районном) и школьном уровнях Республики Казахстан (РК).

Преимуществами использования спутниковых данных является доступность и агрегация на разных географических уровнях. Такие ресурсы, как Earth Observation Group предлагают бесплатный доступ к большому массиву изображений VIIRS и содержат обработанные годовые и месячные снимки ночного освещения начиная с 2012 года (Элвидж и др., 2013; Элвидж и др., 2017). При наличии координат, очерчивающих конкретную географическую зону, скачанные снимки могут быть использованы для измерения ночного освещения зон с минимальным

пространственным разрешением 500 метров (Элвидж и др., 2013). Данное качество позволяет измерять ночное освещение самых разных по масштабу географических единиц, начиная от странового уровня и заканчивая школьными участками. Кроме того, спутниковые снимки обеспечивают широкое пространственное покрытие, включая труднодоступные и удаленные территории, что особенно важно при анализе регионов с ограниченной статистической информацией.

Для РК, ввиду большого географического масштаба страны, ограниченности открытой статистической информации (особенно опросной), а также относительно небольшой численности населения и низкой плотности заселения отдельных регионов, спутниковые данные ночного освещения могут выступать полезным дополнительным источником информации в сфере образования. В данной статье представлены два примера использования данных ночного освещения в рамках прогнозирования строительства школ и моделирования образовательных достижений учащихся по читательской, функциональной грамотности, измеренной с помощью исследования PISA Based Test for Schools (PBTS-2024).

Обзор литературы

Литература в области строительства школ и моделировании факторов, влияющих на образовательные достижения учащихся показывает, что данные темы представляют собой научный и практический интерес. Строительство новых школ является одним из приоритетных направлений среди комплекса государственных мер по повышению уровня образования в Казахстане. В стране принята региональная программа развития с фокусом на строительство новых школ (Правительство РК, 2025; Талдау, 2025). В то же время, эмпирические выводы зарубежных исследований показывают, что в целом, школьная инфраструктура оказывает прямое влияние на качество образования и образовательные достижения учащихся (Эртман, 1998). При этом, строительство и реновация учебных заведений имеют позитивное влияние на охват и академические результаты школьников (Нилсон & Циммерман, 2014; Конлин & Томпсон, 2017). На страновом уровне результаты показывают, что в среднесрочной перспективе школьное строительство улучшает уровень жизни и приносит

экономическую отдачу (Дюфло, 2001; Акреш и др., 2023). В отечественной литературе, вопрос прогнозирования строительства школ не изучен. Существующие попытки были направлены на создание методологии прогнозирования количества учеников для дошкольного и начального школьного уровней (Айдарханова и др., 2025), а также оценку эффективности статистических моделей для прогнозирования школьного контингента (Тлеужан и др., 2025).

Исследование PBTS представляет собой авторитетную международную, стандартизированную оценку функциональной грамотности 15-летних школьников. Данный тест основан на стандартизированном исследовании Programme for International Assessment of Students (PISA), но вместо странового фокуса, нацелен на предоставление результатов на школьном уровне. В целом, литература, изучающая школьные достижения на основе теста PISA, показывает, что такие факторы, как социально-экономический статус на уровне ученика и школы, школьный абсентеизм, плохое поведение учащихся, недостаток учителей, личностно-ориентированное обучение, количество книг, а также образование родителей оказывают влияние на результаты обучающихся по математике и чтению (Котте и др., 2005; Васкес-Кано, 2020; Ван и др., 2023). Помимо этого, такие факторы, как интерес учащихся, мотивация и школьный климат ассоциируются с естественным знанием (Ю и др., 2021; Устун и др., 2022). Примечательно, что СЭС на уровне школьном и ученическом уровнях является одним из самых стабильных и значимых показателей, объясняющих результаты учащихся в исследовании PISA по всем основным направлениям. Важность показателя СЭС также подчеркивается в других страновых, международных исследованиях грамотности (Топчу и др., 2016; Айдын, 2022).

Тем не менее, необходимо отметить отсутствие работ, использующих спутниковые данные ночного освещения в литературе по направлениям школьного строительства и образовательных достижений учащихся. Более того, отсутствуют работы, которые показывают эффективность данного показателя в качестве переменной прогнозирующей как школьное строительство, так и объясняющей достижения учащихся в рамках стандартизированной оценки функциональной грамотности. При этом, исследования, связывающие уровень ночного освещения с образовательными данными в целом, пока ограничены несколькими работами Брудерле & Ходлер

(2018) и Ци и др. (2021). В данных исследованиях показано, что более высокое освещение связано с меньшим уровнем образовательного неравенства и более высокой школьной посещаемостью.

В этой связи, использование меры ночного освещения является перспективным направлением. В частности, благодаря большому разрешению спутниковых снимков VIIRS, ночное освещение может быть измерено в некотором радиусе (1 км.) вокруг школ. Такие школьные зоны охватывают непосредственно прилегающие школьные территории и также частично население учащихся, закрепленных за конкретной школой. В качестве прокси экономического развития, такие зоны могут давать дополнительную контекстуальную информацию на школьном уровне для моделирования достижений учащихся, а также, при наличии историчности сигнализировать географические зоны с растущей экономической активностью, с потенциалом для школьного строительства.

Таким образом, целью данного исследования является оценка полезности использования спутниковых данных ночного освещения на примере использования данной меры для прогнозирования года строительства школ и моделирования образовательных достижений учащихся в РК. Задачами исследования являются:

1. Оценка возможности использования данных ночного освещения для прогнозирования строительства школ.
2. Оценка возможности использования данных ночного освещения в качестве независимой переменной, объясняющей результаты читательской функциональной грамотности учащихся.

Следует отметить принципиальное различие в роли показателя ночной освещенности в двух аналитических задачах настоящего исследования. В рамках задачи 1 ночное освещение выступает в качестве переменной в прогностической модели, целью которой является максимально точное предсказание года строительства школьного здания. В данном контексте интерес представляет прежде всего прогнозная сила переменной, а не интерпретация ее коэффициента. В задаче 2, напротив, ночное освещение рассматривается как мера социально-экономического контекста района, в котором функционирует школа, и ее влияние на читательскую грамотность учащихся оценивается в рамках объяснительной модели. Здесь на первый план выходит не точность прогноза, а корректная идентификация эффекта. Таким образом, переход от задачи

1 к задаче 2 отражает смещение аналитического фокуса от прогнозирования к объяснению.

Актуальность данного исследования обусловлена изучением полезности использования спутниковых снимков ночного освещения, в качестве нового типа данных для в сфере образования Казахстана. Объектом данного исследования являются строительство школ и образовательные достижения учащихся в стране. Субъектом исследования выступают учащиеся и образовательные учреждения, чьи характеристики и результаты изучаются с использованием административных и опросных статистических данных, а также данных спутникового ночного освещения.

Материалы и методы исследования

Для задач 1-2 ночное освещение было изменено в радиусе 1 км зоны вокруг школ построен-

ных в период 2012-2024 годы, а также принявших участие в PBTS-2024. Для измерения были использованы годовые спутниковые снимки VIIRS с вебсайта Earth Observation Group (EOG), Colorado School of Mines в формате tif. Данный вебсайт предоставляет снимки в высоком разрешении в открытом доступе, для научного использования. Годовой снимок представляет собой карту ночного освещения, очищенную от бликов, пожаров и других временных источников света, и отражает только стабильные источники освещения – города, населённые пункты и стационарную инфраструктуру. Годовые спутниковые снимки дают возможность анализировать пространственные и временные изменения освещённости, поскольку каждый пиксель изображения отражает усредненное значение освещения за весь год (Рисунок 1). На Рисунке 1 можно увидеть, как усредненное ночное освещение выглядит на карте РК, за 2024 год.

Рисунок 1

Пространственное распределение ночного освещения РК (2024 г.)



Источник / Примечание: Данный рисунок подготовлен авторами на основе анализа материалов

После импорта, спутниковые изображения были обработаны в Python, с помощью библиотеки rasterstats (Гиллис, 2013). Средние значения ночной освещённости были рассчитаны в радиусе 1 км вокруг школ, построенных за период 2012-2024 гг, а также принявших участие в PBTS-2024. Использование зональных статистик для вычисления среднего значения ночной освещённости внутри полигона позволило по-

лучить агрегированные и пространственно значимые показатели для конкретных территорий, например, школьных округов или городских районов.

После вычисления зональной статистики, данные ночной освещённости на школьном уровне были объединены с данными Национальной Образовательной Базы Данных (НОБД) по уникальному ID для каждой школы.

Моделирование

В рамках задачи 1 была использована модель случайного леса (random forest), часто применяемая в машинном обучении и прогнозировании. Данная модель удобна для автоматического моделирования нелинейных взаимодействий между переменными, которые в регрессионных моделях необходимо задавать отдельно. На практике это означает, что модель способна выявлять неявные сочетания факторов, например, связь между регионом и типом местности или регионом и типом школы, а также учитывать их совместное влияние на год строительства школы. Помимо этого, модель случайного леса позволяет оценить значимость каждой переменной, то есть определить, какие факторы вносят наибольший вклад в предсказание результата. По сравнению с более простыми моделями (пр. регрессионное древо), случайный лес позволяет получить относительно более точные и устойчивые оценки прогноза.

Зависимой переменной выступил год строительства основного школьного здания. Независимые переменные включили в себя регион (область), тип школы (частная – 37.6%, государственная – 62.4%) и тип местности (город – 47.3%, село – 52.7%). Данные по ночной освещенности за период 2012–2024 гг. были использованы для построения двух дополнительных переменных. Первая, среднее значение ночной освещенности за годы,

предшествующие строительству школы. Данная переменная отражает базовый уровень экономической активности в районе расположения школы. Вторая, динамика изменения ночного освещения, которая представляет собой коэффициент наклона, полученный методом простой линейной регрессии ночной освещенности на календарный год, оцениваемой отдельно для каждой школы на основе всех доступных наблюдений за годы, предшествующие году строительства (не включая его). Положительное значение динамики свидетельствует о росте освещенности, а отрицательное, о ее снижении в предстроительный период. Обе переменные, характеризующие ночное освещение, а также бинарные переменные типа школы и типа местности были стандартизированы перед анализом. Данный шаг был обусловлен для удобства сопоставимости интерпретации результатов. Качество модели оценивалось на тестовой выборке, составившей 20% от исходных данных, по показателям среднеквадратичной ошибки (RMSE,

чем ниже, тем лучше) и доли объясненной дисперсии (R^2 , чем выше, тем лучше). Помимо этого, для оценки важности переменных была использована % изменения среднеквадратичной ошибки (%IncMSE, чем выше, тем лучше). Описательная статистика ночной освещенности представлена в Таблице 1.

В рамках задачи 2 была использована мультиуровневая регрессия, где переменные первого уровня (ученического) включили в себя социально-экономический статус школьников (СЭС) и язык тестирования (рус. – 33.1%, каз. – 66.9% от общего кол-ва учащихся). Переменные второго уровня (школьного) включили в себя местонахождение школы в городе (57.9%) или селе (42.1%), а также уровень ночной освещенности за 2024 год (в соответствии с годом сбора данных PBTS). Для удобства интерпретации результатов, школьная мера освещенности была центрирована на основе средней по РК. В дополнении, как и в задаче 1, все независимые переменные были стандартизированы для сопоставимости интерпретации результатов. Стоит отметить, что в отличие от задачи 1, где были использованы исторические данные ночного освещения за 2012-2024 гг., в задаче 1 были использованы кросс-секционные данные за 2024 год.

Моделирование было проведено поэтапно, с использованием ноль модели, модели с переменной ночной освещенности и модели, включавшей в себя полный набор переменных.

Учитывая комплексный дизайн оценки PBTS, где результаты функциональной грамотности представлены возможными значениями (plausible values), моделирование было проведено на основе 10 возможных значений с последующим усреднением по правилу Рубина. Несмотря на частое использование школьных весов в моделировании результатов международных исследований читательской функциональной грамотности (Манг и др., 2021; Атасев и др., 2025), в данном исследовании мультиуровневое моделирование проводилось без их применения. Данный шаг был обусловлен тем, что исследование PBTS направлено на получение оценок на школьном уровне и не предоставляет весов для обобщения результатов на всю популяцию школьников Казахстана.

Дескриптивная статистика непрерывных переменных для задач 1 и 2 представлена в таблицах 1-2. Несмотря на большую скошенность ночного освещения в Таблице 2, данная переменная была использована в моделировании чи-

тательской грамотности без трансформаций. Тем не менее, для проверки надежности результатов, было проведено дополнительное моделирование с нормализованной мерой (преобразование Бок-

са-Кокса) ночного освещения. Данный шаг был необходим для корректировки влияния крупных источников освещения (например городов Алматы и Астана).

Таблица 1

Дескриптивная статистика для моделирования школьного строительства (n школ – 1585)

	Среднее значение	Стандартное отклонение	Макс.	Мин.	Асимметрия
Год строительства	2019	3.23	2024	2012	-0.13
Уровень ночного освещения до строительства	0.00	1.00	7.84	-0.52	3.51
Тренд изменения ночного освещения	0.00	1.00	9.14	-14.67	-6.31

Источник / Примечание: Данная таблица составлена авторами на основе анализа материалов.

Таблица 2

Дескриптивная статистика для моделирования читательской грамотности учащихся PBTS-2024 (n школ – 938, n учеников – 27918)

	Среднее значение	Стандартное отклонение	Макс.	Мин.	Асимметрия
Чтение ¹	420.1	86.3	781.0	92.5	-0.05
СЭС	-0.16	0.69	8.95	-6.38	-0.07
Ночное освещение	0.00	1.00	5.67	-0.88	1.68

Источник / Примечание: ¹Дескриптивная статистика была рассчитана на основе 1 возможного значения из 10. Данная таблица составлена авторами на основе анализа материалов.

Результаты и обсуждение

Моделирование в рамках задачи 1 показало, что наибольший вклад в предсказание года строительства вносит динамика изменения ночного освещения (%IncMSE = 90.9), что свидетельствует о том, что траектория изменения освещения в районе расположения школы является более полезной переменной сроков строительства, чем абсолютный уровень освещения. Тип школы (частная/государственная) занимает второе место по важности (%IncMSE = 67.8), тогда как среднее значение ночного освещения и регион демонстрируют сопоставимый уровень важности (%IncMSE = 45.8 и 45.1 соответственно). Тип местности (городская/сельская) вносит наименьший вклад в модель (%IncMSE = 26.3). При этом тестирование модели на тестовом наборе данных показало RMSE = 2.52 и $R^2 = 0.42$,

что является относительно высокими показателями при небольшом количестве переменных в модели.

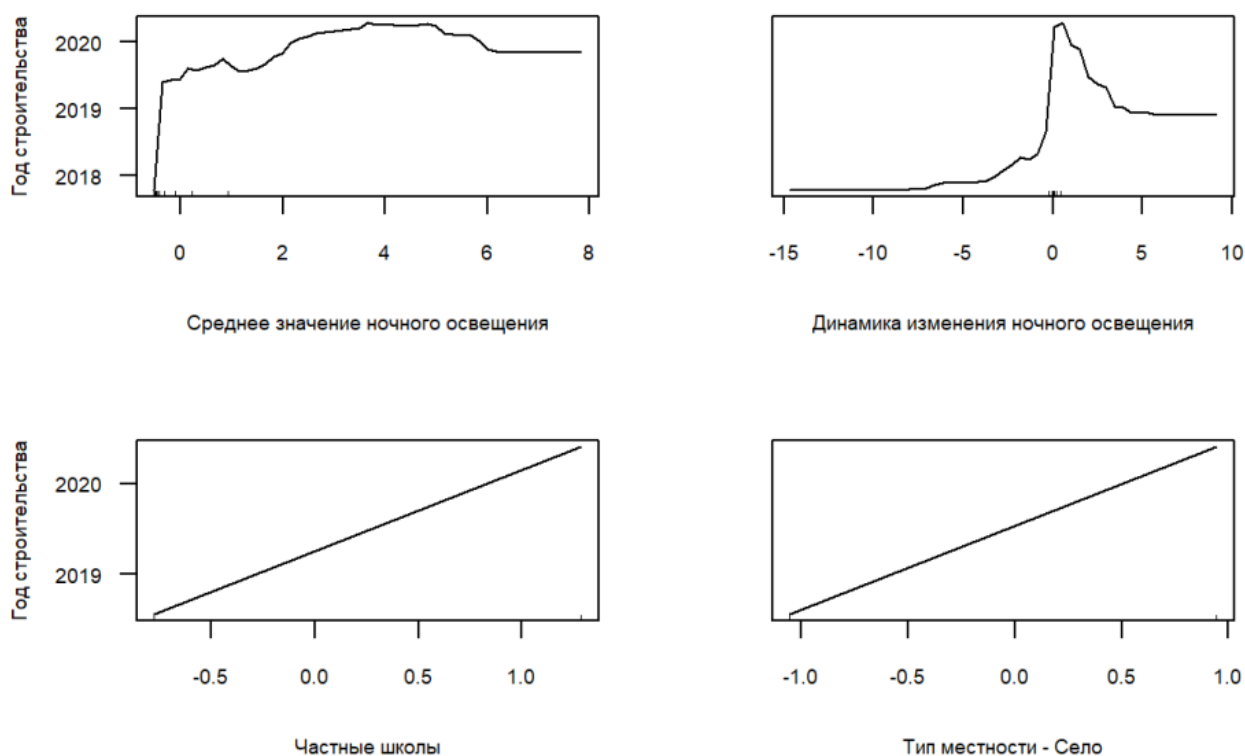
Анализ частичной зависимости показал пороговый эффект для среднего значения ночного освещения. В частности, при переходе от минимальных значений к среднему уровню прогнозируемый год строительства возрастает приблизительно на два года, после чего зависимость выравнивается. Динамика изменения освещения показала нелинейную зависимость с пиком вблизи нулевого значения, школы в районах со сниженным уровнем освещения в предстроительный период строились раньше всего, тогда как стабильная или умеренно растущая динамика соответствует наиболее поздним срокам строительства, разрыв между крайними значениями составил около трех лет. Тип школы демонстрирует линейный эффект, частные школы строи-

лись в среднем на полтора года позже государственных. Тип местности практически не влияет на прогнозируемый год строительства, диапазон

частичной зависимости составляет менее 0.01 года, что свидетельствует о субстантивной незначимости данной переменной.

Рисунок 2

Частичная зависимость (стандартизированные переменные)



Источник / Примечание: Данный рисунок составлен авторами на основе анализа материалов

Результаты моделирования в рамках задачи 2 показали, что ночное освещение имеет статистически значимое влияние на результаты читательской грамотности PBTS-2024. В частности изменение освещения на 1 стандартное отклонение от среднереспубликанского уровня ведет к повышению читательской грамотности на 6.56 баллов ($\beta=6.56$, $se=1.60$). Данный эффект не снижается при включении других независимых переменных.

Примечательно, что ночное освещение имело эффект даже при наличии переменной СЭС в модели, которая также показывает статистически значимый эффект в 8.51 баллов за увеличение на 1 стандартное отклонение ($\beta=8.51$, $se=0.85$). Из других результатов сто-

ит отметить, что при прочих равных, ученики, сдавшие тест на казахском языке набрали на 18 баллов меньше, чем ученики на русском ($\beta=-18.20$, $se=1.10$). Примечательно, что переменная город-село теряет статистическую значимость с включением меры ночного освещения. В целом, включение дополнительных переменных в модели 1 и модели 2 снизило межшкольную дисперсию на 4%. Дополнительное моделирование с использованием нормализованной меры ночного освещения не выявило субстантивных различий в результатах, ночное освещение вокруг школы показало статистически значимый, позитивный эффект на читательскую грамотность учащихся ($\beta=5.25$, $se=1.68$).

Таблица 3

Результаты моделирования читательской грамотности учащихся PBTS-2024

Переменная	Нулевая модель	Модель 1	Модель 2
Константа	416.7 (1.26)***	420.53 (1.14)***	421.11 (1.14)***
СЭС		8.70 (0.85)***	8.51 (0.85)***
Язык тестирования: казахский ^а		-18.20 (1.10)***	-18.02 (1.10)***
Город ^б		3.75 (1.08)**	0.13 (1.34)
Ночное освещение			6.56 (1.60)***
% меж школьной дисперсии	0.15	0.11	0.11

Источник / Примечание: ^аДихотомическая переменная, референсная категория – язык тестирования: русский. ^бДихотомическая переменная, референсная категория – село. Уровни статистической значимости: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Данная таблица составлена авторами на основе анализа материалов.

Заключение

В данном исследовании было продемонстрировано использование спутниковых данных ночного освещения в качестве переменной для прогнозирования строительства школ и читательской функциональной грамотности учащихся, измеренной в рамках исследования PBTS-2024. Результаты первой задачи показали, что показатели ночного освещения обладают высокой полезностью для прогнозирования строительства школ. В рамках второй задачи было установлено, что ночное освещение имеет статистически значимый положительный эффект на читательскую грамотность школьников.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что показатели ночного освещения в радиусе 1 км вокруг школ могут использоваться в задачах образовательного прогнозирования. Так к примеру, по результатам задачи 1 динамика ночного освещения оказывает наиболее значимое влияние на прогноз года строительства школ. В практическом смысле, данный результат показывает, что строительство школ отчасти зависит от динамики экономической активности в конкретном географическом районе. Возрастание экономической активности сопряжено с увеличением численности населения и привлекательности района, что в конечном счете увеличивает вероятность строительства школы. Данный результат также можно использовать для нахождения районов с возрастающей экономической активностью, что может улучшить планирование строительства новых школ.

Кроме того, ночное освещение вокруг школы может рассматриваться как характеристика непосредственно прилегающей жилой среды,

особенно в городских районах. Позитивная связь между ночным освещением и образовательными результатами дополняет традиционные показатели социально-экономического статуса на индивидуальном уровне и указывает на потенциальную полезность ночного освещения, как дополнительного контекстуального индикатора СЭС на школьном уровне.

Среди дополнительных выводов можно отметить, что тип школы (государственная/частная) демонстрирует полезность в рамках модели прогнозирования. Субстантивно частные школы характеризуются более поздними сроками строительства по сравнению с государственными. Потенциально данный результат может быть связан с более поздним развитием частного школьного сектора, а также его ориентацией на территории с более высокой экономической активностью и/или недостатком государственных школ. Помимо этого, в рамках задачи 2 переменная город-село потеряла статистическую значимость после включения показателя ночного освещения в модель 2. Данный результат может свидетельствовать о том, что ночное освещение улавливает часть контекстуальных различий между городскими и сельскими школами, связанных с уровнем экономической активности и инфраструктурного развития территории. Иными словами, эффект городской и сельской местности может объясняться не самим типом местности, а сопутствующими различиями в социально-экономической среде, отражёнными в показателях ночного освещения.

Тем не менее, настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, модели прогнозирования могут быть расширены за счет включения дополнительных переменных как на

школьном, так и на индивидуальном уровнях. Во-вторых, для более полного анализа необходимо включение географических единиц с различными уровнями ночного освещения, в которых отсутствовало школьное строительство. Это позволило бы использовать модели анализа выживаемости для оценки вероятности строительства школ, в зависимости от интенсивности ночного освещения. Дополнительно, тестирование различных радиусов вокруг школ может дать более полное представление о связи между ночным освещением и экономической активностью, поскольку радиус 1 км может быть недостаточным для отдельных географических единиц.

Будущие исследования могут расширить анализ функциональной грамотности с использованием данных других международных сопоставительных исследований, проводимых Организацией экономического сотрудничества и развития в Казахстане. Помимо этого, перспективным направлением является проведение анализа чувствительности различных радиусов географических зон ночного освещения вокруг школ. В дальнейшем также важно оценить полезность показателей ночного освещения в расширенных предиктивных моделях строительства школ и прогнозирования контингента учащихся.

Практическая полезность

С практической точки зрения результаты исследования могут быть полезны для планирования школьного строительства на местном и республиканском уровнях. Рост ночного освещения способен выступать потенциальным индикатором географических зон, в которых наблюдается недостаток или отсутствие образовательной инфраструктуры. Благодаря доступности и регулярному обновлению спутниковых данных показатели ночного освещения могут интегрироваться в автоматизированные прогнозные модели для выявления потенциальных

территорий, нуждающихся в строительстве новых школ.

Кроме того, использование ночного освещения в качестве дополнительного контекстуального индикатора социально-экономического статуса может быть полезно при разработке образовательных политик, направленных на снижение межшкольного неравенства. Включение подобных пространственных показателей позволяет учитывать особенности непосредственной территории вокруг школы и может способствовать более точному выявлению образовательных рисков и территориальных различий в результатах обучения.

Финансирование

Эта статья является результатом научного проекта, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24993019).

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют о полном отсутствии конфликта интересов.

Благодарность

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам за полезные комментарии, а также редакторам журнала за работу, проделанную при подготовке данной статьи к публикации.

Вклад авторов

Нурумов Кайдар: Научное руководство, Концептуализация, Методология, Проведение анализа, Написание – первоначальный вариант.

Нурмухамед Данагүл: Привлечение финансирования, Администрирование проекта, Написание – рецензирование и редактирование.

Тарақбай Әнел: Работа с данными, Проведение анализа, Написание – анализ и редактирование.

Литература

- Addison, D. M., & Stewart, B. (2015). Nighttime lights revisited: the use of nighttime lights data as a proxy for economic variables. World Bank Policy Research Working Paper, (7496).
- Aidarkhanova, G., Zhmagulov, C., Nyussupova, G., & Kholina, V. (2025). Assessing the impact of demographic growth on the educational infrastructure for sustainable regional development: Forecasting demand for preschool and primary school enrollment in Kazakhstan. *Sustainability*, 17(9), 4212.
- Akresh, R., Halim, D., & Kleemans, M. (2023). Long-term and intergenerational effects of education: Evidence from school construction in Indonesia. *The Economic Journal*, 133(650), 582-612.
- Atasever, U., Huang, F. L., & Rutkowski, L. (2025). Reassessing weights in large-scale assessments and multilevel models. *Large-scale Assessments in Education*, 13(1), 9.

- Aydin, M. (2022). A multilevel modeling approach to investigating factors impacting computer and information literacy: ICILS Korea and Finland sample. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1675-1703.
- Bruederle, A., & Hodler, R. (2018). Nighttime lights as a proxy for human development at the local level. *PloS one*, 13(9), e0202231.
- Conlin, M., & Thompson, P. N. (2017). Impacts of new school facility construction: An analysis of a state-financed capital subsidy program in Ohio. *Economics of Education Review*, 59, 13-28.
- Doll, C. N., Muller, J. P., & Morley, J. G. (2006). Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. *Ecological Economics*, 57(1), 75-92.
- Dufo, E. (2001). Schooling and labor market consequences of school construction in Indonesia: Evidence from an unusual policy experiment. *American economic review*, 91(4), 795-813.
- Earthman, G. I. (1998). The Impact of School Building Condition and Student Achievement, and Behavior.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Zhizhin, M., & Hsu, F. C. (2013). Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific advanced network*, 35(0), 62.
- Elvidge, C. D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F. C., & Ghosh, T. (2017). VIIRS night-time lights. *International journal of remote sensing*, 38(21), 5860-5879.
- Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., & Li, C. (2021). Which night lights data should we use in economics, and where?. *Journal of Development Economics*, 149, 102602.
- Gillies, S. (2013). *rasterstats: Summarize geospatial raster datasets based on vector geometries* (Version 0.20.0) [Python Package]. GitHub. <https://github.com/perrygeo/python-rasterstats>
- Henderson, V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2011). A bright idea for measuring economic growth. *American Economic Review*, 101(3), 194-199.
- Kotte, D., Lietz, P., & Lopez, M. M. (2005). Factors influencing reading achievement in Germany and Spain: Evidence from PISA 2000. *The International Journal of Social Education: Official Journal of the Indiana Council for the Social Studies*, 6(1), 113-124.
- Levin, N., Kyba, C. C., Zhang, Q., de Miguel, A. S., Román, M. O., Li, X., ... & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111443.
- Lobo, J., Stolarick, K., & Matheson, Z. (2015). Night-time light data: A good proxy measure for economic activity? *PloS one*, 10(10), e0139779.
- Mang, J., Küchenhoff, H., Meinck, S., & Prenzel, M. (2021). Sampling weights in multilevel modelling: An investigation using PISA sampling structures. *Large-Scale Assessments in Education*, 9(1), 6.
- National Centre for Education Research and Evaluation “Taldau” named after Ahmet Baitursynuly. (2025). *National report on the state and development of the education system of the Republic of Kazakhstan (based on 2024 data)*. Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan, Astana.
- Neilson, C. A., & Zimmerman, S. D. (2014). The effect of school construction on test scores, school enrollment, and home prices. *Journal of Public Economics*, 120, 18-31.
- Qi, B., Wang, X., & Sutton, P. (2021). Can nighttime satellite imagery inform our understanding of education inequality?. *Remote Sensing*, 13(5), 843.
- Tleuzhan, D., Pilipenko, A., & Tleuzhanuly, K. (2025). Comparative Analysis of Forecasting Models for Student Enrollment in Kazakhstan’s General Secondary Education System. *BUKETOV BUSINESS REVIEW*, 12030(4), 36-48.
- Topçu, M. S., Erbilgin, E., & Arıkan, S. (2016). Factors predicting Turkish and Korean students’ science and mathematics achievement in TIMSS 2011.
- Ustun, U., Cansiz, M., Ozdemir, E., & Cansiz, N. (2022). Student and school-level factors to predict science literacy for two top-performing countries in PISA 2015: Finland and Singapore. *International Journal of Science Education*, 44(4), 579-603.
- Vázquez-Cano, E., De la Calle-Cabrera, A. M., Hervás-Gómez, C., & López-Meneses, E. (2020). Socio-Family Context and Its Influence on Students’ PISA Reading Performance Scores: Evidence from Three Countries in Three Continents. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 20(2), 50-62.
- Wang, X. S., Perry, L. B., Malpique, A., & Ide, T. (2023). Factors predicting mathematics achievement in PISA: A systematic review. *Large-Scale Assessments in Education*, 11(1), 24.
- Weidmann, N. B., & Theunissen, G. (2021). Estimating local inequality from nighttime lights. *Remote Sensing*, 13(22), 4624.
- You, H. S., Park, S., & Delgado, C. (2021). A closer look at US schools: What characteristics are associated with scientific literacy? A multivariate multilevel analysis using PISA 2015. *Science Education*, 105(2), 406-437.
- Zhou, N., Hubacek, K., & Roberts, M. (2015). Analysis of spatial patterns of urban growth across South Asia using DMSP-OLS nighttime lights data. *Applied Geography*, 63, 292-303.
- Правительство Республики Казахстан. (2025). Об утверждении Концепции регионального развития Республики Казахстан на 2025–2030 годы. Доступно по адресу: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P25000000679> (дата обращения: 20 февраля 2025 г.).

References

- Addison, D. M., & Stewart, B. (2015). Nighttime lights revisited: the use of nighttime lights data as a proxy for economic variables. *World Bank Policy Research Working Paper*, (7496).
- Aidarkhanova, G., Zhumagulov, C., Nyussupova, G., & Kholina, V. (2025). Assessing the impact of demographic growth on the educational infrastructure for sustainable regional development: Forecasting demand for preschool and primary school enrollment in Kazakhstan. *Sustainability*, 17(9), 4212.
- Akresh, R., Halim, D., & Kleemans, M. (2023). Long-term and intergenerational effects of education: Evidence from school construction in Indonesia. *The Economic Journal*, 133(650), 582-612.
- Atasever, U., Huang, F. L., & Rutkowski, L. (2025). Reassessing weights in large-scale assessments and multilevel models. *Large-scale Assessments in Education*, 13(1), 9.
- Aydin, M. (2022). A multilevel modeling approach to investigating factors impacting computer and information literacy: ICILS Korea and Finland sample. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1675-1703.
- Bruederle, A., & Hodler, R. (2018). Nighttime lights as a proxy for human development at the local level. *PloS one*, 13(9), e0202231.
- Conlin, M., & Thompson, P. N. (2017). Impacts of new school facility construction: An analysis of a state-financed capital subsidy program in Ohio. *Economics of Education Review*, 59, 13-28.
- Doll, C. N., Muller, J. P., & Morley, J. G. (2006). Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. *Ecological Economics*, 57(1), 75-92.
- Duflo, E. (2001). Schooling and labor market consequences of school construction in Indonesia: Evidence from an unusual policy experiment. *American economic review*, 91(4), 795-813.
- Earthman, G. I. (1998). The Impact of School Building Condition and Student Achievement, and Behavior.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Zhizhin, M., & Hsu, F. C. (2013). Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific advanced network*, 35(0), 62.
- Elvidge, C. D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F. C., & Ghosh, T. (2017). VIIRS night-time lights. *International journal of remote sensing*, 38(21), 5860-5879.
- Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., & Li, C. (2021). Which night lights data should we use in economics, and where?. *Journal of Development Economics*, 149, 102602.
- Gillies, S. (2013). *rasterstats: Summarize geospatial raster datasets based on vector geometries* (Version 0.20.0) [Python Package]. GitHub. <https://github.com/perrygeo/python-rasterstats>
- Government of the Republic of Kazakhstan. (2025). *Ob uverzhdenii Kontseptsii regional'nogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2025–2030 gody [On approval of the Concept of regional development of the Republic of Kazakhstan for 2025–2030]*. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P25000000679> (accessed February 20, 2025). (in Russian)
- Henderson, V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2011). A bright idea for measuring economic growth. *American Economic Review*, 101(3), 194-199.
- Kotte, D., Lietz, P., & Lopez, M. M. (2005). Factors influencing reading achievement in Germany and Spain: Evidence from PISA 2000. *The International Journal of Social Education: Official Journal of the Indiana Council for the Social Studies*, 6(1), 113-124.
- Levin, N., Kyba, C. C., Zhang, Q., de Miguel, A. S., Román, M. O., Li, X., ... & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111443.
- Lobo, J., Stolarick, K., & Matheson, Z. (2015). Night-time light data: A good proxy measure for economic activity? *PloS one*, 10(10), e0139779.
- Mang, J., Küchenhoff, H., Meinck, S., & Prenzel, M. (2021). Sampling weights in multilevel modelling: An investigation using PISA sampling structures. *Large-Scale Assessments in Education*, 9(1), 6.
- National Centre for Education Research and Evaluation “Taldau” named after Ahmet Baitursynuly. (2025). *National report on the state and development of the education system of the Republic of Kazakhstan (based on 2024 data)*. Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan, Astana.
- Neilson, C. A., & Zimmerman, S. D. (2014). The effect of school construction on test scores, school enrollment, and home prices. *Journal of Public Economics*, 120, 18-31.
- Qi, B., Wang, X., & Sutton, P. (2021). Can nighttime satellite imagery inform our understanding of education inequality?. *Remote Sensing*, 13(5), 843.
- Tleuzhan, D., Pilipenko, A., & Tleuzhanuly, K. (2025). Comparative Analysis of Forecasting Models for Student Enrollment in Kazakhstan’s General Secondary Education System. *BUKETOV BUSINESS REVIEW*, 12030(4), 36-48.
- Topçu, M. S., Erbilgin, E., & Arıkan, S. (2016). Factors predicting Turkish and Korean students’ science and mathematics achievement in TIMSS 2011.
- Wang, X. S., Perry, L. B., Malpique, A., & Ide, T. (2023). Factors predicting mathematics achievement in PISA: A systematic review. *Large-Scale Assessments in Education*, 11(1), 24.
- Weidmann, N. B., & Theunissen, G. (2021). Estimating local inequality from nighttime lights. *Remote Sensing*, 13(22), 4624.
- Ustun, U., Cansiz, M., Ozdemir, E., & Cansiz, N. (2022). Student and school-level factors to predict science literacy for two top-performing countries in PISA 2015: Finland and Singapore. *International Journal of Science Education*, 44(4), 579-603.

Vázquez-Cano, E., De la Calle-Cabrera, A. M., Hervás-Gómez, C., & López-Meneses, E. (2020). Socio-Family Context and Its Influence on Students' PISA Reading Performance Scores: Evidence from Three Countries in Three Continents. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 20(2), 50-62.

You, H. S., Park, S., & Delgado, C. (2021). A closer look at US schools: What characteristics are associated with scientific literacy? A multivariate multilevel analysis using PISA 2015. *Science Education*, 105(2), 406-437.

Zhou, N., Hubacek, K., & Roberts, M. (2015). Analysis of spatial patterns of urban growth across South Asia using DMSP-OLS nighttime lights data. *Applied Geography*, 63, 292-303.

Сведения об авторах:

Нурумов Кайдар (корреспондент-автор) – магистр, независимый исследователь (Астана, Казахстан, e-mail: k.nurumov@gmail.com).

Нұрмұхамед Данагүл – магистр, директор Департамента прикладных исследований и разработок, АО «Национальный центр исследований и оценки образования «Талдау» имени Ахмет Байтұрсынұлы» (Астана, Казахстан, e-mail: d.nurmukhamed@taldau.edu.kz).

Тарақбай Әнел – магистр, главный аналитик Департамента прикладных исследований и разработок, АО «Национальный центр исследований и оценки образования «Талдау» имени Ахмет Байтұрсынұлы» (Астана, Казахстан, e-mail: tarakbaeva@gmail.com).

Information about the authors:

Nurumov Kaidar (corresponding author) – Master's Degree Holder, Independent Researcher (Astana, Kazakhstan, e-mail: k.nurumov@gmail.com).

Nurmukhamed Danagul – MPP, Director of the Department of Applied Research and Development, JSC “Akhmet Baitursynuly National Centre for Research and Evaluation of Education “Tal dau”, (Astana, Kazakhstan, e-mail: d.nurmukhamed@taldau.edu.kz).

Tarakbay Anel – MS, Chief Analyst of the Department of Applied Research and Development, JSC “Akhmet Baitursynuly National Centre for Research and Evaluation of Education “Tal dau”, (Astana, Kazakhstan, e-mail: tarakbaeva@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Нурумов Кайдар (корреспонденттік автор) – магистр, Тәуелсіз зерттеуші (Астана, Қазақстан, e-mail: k.nurumov@gmail.com).

Нұрмұхамед Данагүл – Магистр, Қолданбалы зерттеулер және өзірлемелер департаментінің директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы «Талдау» зерттеулер және білімді бағалау орталығы» АҚ, (Астана, Қазақстан, e-mail: d.nurmukhamed@taldau.edu.kz).

Тарақбай Әнел – магистр, Қолданбалы зерттеулер және өзірлемелер департаментінің бас талдаушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы «Талдау» зерттеулер және білімді бағалау орталығы» АҚ, (Астана, Қазақстан, e-mail: tarakbaeva@gmail.com).

Поступила: 18.05.2026

Принята: 15.07.2026