

УДК 504.062.2
AGRIS K10

https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/08

ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ВОСТОЧНО-ЗАНГЕЗУРСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА АЗЕРБАЙДЖАНА

©Юсифова М. М., ORCID: 0000-0002-5055-1359, канд. биол. наук, Бакинский
государственный университет, г. Баку, Азербайджан, mehluqe_yusifli@mail.ru

©Ализаде Ш. Н., ORCID: 0000-0002-9822-7304, Бакинский государственный
университет, г. Баку, Азербайджан, alizade.shams@mail.ru

SOLAR ENERGY POTENTIAL OF THE EASTERN ZANGEZUR ECONOMIC REGION OF AZERBAIJAN

©Yusifova M., ORCID: 0000-0002-5055-1359, Ph.D., Baku State University,
Baku, Azerbaijan, mehluqe_yusifli@mail.ru

©Alizade Sh., ORCID: 0000-0002-9822-7304, Baku State University,
Baku, Azerbaijan, alizade.shams@mail.ru

Аннотация. Восточный Зангезурский экономический район, благодаря своим богатым природным ресурсам и стратегическому расположению, является одним из наиболее перспективных регионов Азербайджана в экономическом и экологическом плане. Решение экологических проблем и обеспечение устойчивого развития являются одним из главных условий для полного раскрытия потенциала этого региона. Оценка потенциала солнечной энергии в этом регионе имеет первостепенное значение, особенно с учетом экологических и экономических преимуществ солнечных источников энергии. Восточно-Зангезурский экономический район характеризуется богатыми природными ресурсами, включая леса, реки, плодородные земли, минеральные ресурсы и биоразнообразие. Несмотря на ущерб, нанесенный во время оккупации, достигнут значительный прогресс в восстановлении экологического баланса экономического района, включая инициативы по восстановлению лесов, очистке воды и по развитию возобновляемых источников энергии. В этом исследовании представляется потенциал солнечной энергии Зангиланского, Кельбаджарского и Губадлинского районов, подчеркиваются их географические преимущества и круглогодичная доступность солнечного света. Для расчета солнечной радиации и производства солнечной энергии использовались следующие параметры: склонение, углы падения солнечных лучей, солнечный часовой угол, зенитный угол. Определено, что солнечная радиация в Зангилане 20 марта в 12:00 составляет приблизительно 1309,5 Вт/м², в Кельбаджаре 1299.2 Вт/м², а в Губадлы -1057.40 Вт/м². Подробные расчеты солнечной радиации и зенитных углов демонстрируют жизнеспособность солнечных проектов в этих районах. Установлено, что суммарная годовая выработка энергии с 1 гектара солнечных панелей в этих районах составляет в общей сложности 13 206,6 МВт. Изучение потенциала, специфичного для этого региона, позволяет получить ценную информацию о целесообразности и потенциале развития солнечной энергетики в Восточно-Зангезурском экономическом районе, способствуя общей оценке и развитию возобновляемой энергетики в Азербайджане.

Abstract. The Eastern Zangezur Economic Region, owing to its rich natural resources and strategic location, is one of the most promising regions of Azerbaijan from both economic and environmental perspectives. Addressing environmental challenges and ensuring sustainable development are among the main prerequisites for fully realizing the potential of this region.

Assessing the solar energy potential of the region is of paramount importance, especially in view of the environmental and economic advantages of solar energy sources. The Eastern Zangezur Economic Region is characterized by abundant natural resources, including forests, rivers, fertile lands, mineral resources, and biodiversity. Despite the damage inflicted during the period of occupation, significant progress has been made in restoring the ecological balance of the economic region, including initiatives for reforestation, water purification, and the development of renewable energy sources. This study presents the solar energy potential of the Zangilan, Kalbajar, and Gubadli districts, highlighting their geographical advantages and year-round availability of sunlight. The following parameters were used to calculate solar radiation and solar energy production: declination, angles of incidence of solar rays, solar hour angle, and zenith angle. It was determined that solar radiation in Zangilan on March 20 at 12:00 is approximately 1309.5 W/m², in Kalbajar 1299.2 W/m², and in Gubadli 1057.40 W/m². Detailed calculations of solar radiation and zenith angles demonstrate the viability of solar projects in these areas. It was established that the total annual energy generation from 1 hectare of solar panels in these areas amounts to a combined total of 13,206.6 MWh. Studying the region-specific potential provides valuable insights into the feasibility and prospects for the development of solar energy in the Eastern Zangezur Economic Region, contributing to the overall assessment and advancement of renewable energy in Azerbaijan

Ключевые слова: углы падения солнечных лучей, зенитный угол, солнечная радиация, энергетический потенциал.

Keywords: angles of solar incidence, zenith angle, solar radiation, energy potential.

В значительной степени мировое потребление энергии заменяется возобновляемыми источниками энергии из-за истощения запасов ископаемого топлива и ускорения изменений окружающей среды. Использование природных, устойчивых источников энергии, в частности, солнечных энергетических технологий, для питания инженерных систем помогает снизить энергозатраты, тем самым уменьшая производственные издержки, а также антропогенную нагрузку на окружающую среду. Солнечная энергия, поступающая на Землю, является крупнейшим доступным возобновляемым источником энергии, а электроэнергия, вырабатываемая солнечными фотоэлектрическими панелями, в настоящее время является самым дешевым видом возобновляемой энергии [1].

Детальная оценка потенциала солнечной энергии в регионе Ближнего Востока и Северной Африки и Средиземноморья путем разработки системы зонирования солнечного потенциала на основе передовых методов кластеризации, примененных к данным NASA POWER проводился Хаджоу и Мгоучи [2].

Проводимый ими анализ глобальной горизонтальной освещенности (GHI) выделил восемь различных зон, выявив значительный пространственный градиент в доступности солнечных ресурсов, где среднегодовые значения GHI варьируются от 4,57 кВт·ч/м²/день до 6,46 кВт·ч/м²/день. Предлагается новый метод оценки солнечного потенциала, для оценки солнечной мощности в глобальном масштабе, выбрана модель XGBoost для обучения на основе исторических данных о солнечной радиации и метеорологических данных за период с 1980 по 2015 год [3].

Результаты показали, что модель XGBoost превосходит другие алгоритмы машинного обучения, достигая более низких значений RMSE = 0,97 кВт·ч/м² и MAE = 0,76 кВт·ч/м² соответственно для потенциала солнечной энергии. Были проведены три исследования на Минданао (Филиппины), в Гоби-Алтае (Монголия) и на Пелопоннесе (Греция), результаты

которых демонстрируют эффективность предложенного метода в долгосрочном планировании солнечной энергетики. Проведена оценка потенциала солнечной и ветровой энергии в провинции Разави Хорасан, Иран, оценку среднего уровня солнечной радиации, средних скоростей ветра и параметров распределения Вейбулла для различных городов и зон в пределах провинции [4].

Представлены данные о количестве солнечной радиации за период с января 2018 г по декабрь 2022 г для определенных районов Бахир-Дара, Эфиопия: 37° в.д. и 11,6° с.ш. В апреле наблюдалась наибольшая глобальная радиация (среднемесячная почасовая) на горизонтальной поверхности, составляющая 9,09 МДж/м²·час, в то время как в июне наблюдалась наименьшая рассеянная радиация — 2,3 МДж/м²·час. Согласно исследованию, излучение на наклонной поверхности по отношению к экватору в северном полушарии при азимутальном угле $\gamma = 0^\circ$ показывает, что максимально возможное суммарное излучение (среднемесячное за сутки) составляет 48,3 МДж/м²·сут (январь), а максимально возможное суммарное излучение (среднемесячное за час) — 9,14 МДж/м²·час в 13:00 [5].

Анализируются долгосрочные гидрометеорологические данные для прогнозирования природных и климатических условий вдоль побережья залива Гарабогазкель в Каспийском море [6].

Рассматривается потенциал природных ресурсов солнечной энергии на побережье залива. Используются инновационные методы для решения задач оценки потенциала тепловых ресурсов солнечной радиации; учета соляных отложений залива в качестве теплоаккумуляторов для разработки, внедрения и использования технологий солнечной тепловой энергии; и составления технико-экономического обоснования их использования в инженерных системах залива. На основе теоретических исследований и методических расчетов, скорректированных с учетом продолжительности солнечного сияния; часового угла для наклонной и нормально ориентированной поверхности; смещения солнечного склонения на наклонную поверхность и к горизонту; рассеяния излучения, альбедо, угловых параметров входного и солнечного излучения; среднемесячной и годовой температуры наружного воздуха и работы солнечной установки; удельных энергетических параметров солнечной установки и т. д., были оценены потенциалы солнечной энергии фотоэлектрического инвертора и солнечного теплового коллектора при оптимальном угле наклона.

В провинции Хэйлунцзян, с использованием географической информационной системы (ГИС) был проведен анализ ресурсов солнечной энергии в 13 крупных городах с целью предоставления справочной информации для планирования низкоуглеродного развития в регионе Хэйлунцзян. С помощью регрессионного анализа был выявлен коэффициент корреляции. За исключением Харбина, уровень экономического развития других городов региона демонстрирует сильную корреляцию с потенциалом использования ресурсов солнечной энергии. Было установлено, что ВВП каждой отрасли и коэффициент использования солнечной энергии оказывают большее влияние на использование солнечной энергии, чем ВВП сектора услуг [7].

В исследованиях использовались данные спутниковых снимков для проведения региональной оценки потенциала солнечной фотоэлектрической генерации в северной части Нигерии. Была рассчитана среднегодовая глобальная солнечная радиация на основе спутниковых снимков, использовалась программа ArcGIS для определения приоритетных направлений для развития солнечных фотоэлектрических станций в северной части Нигерии. Полученные данные показали, что северо-восточный регион имеет самое высокое среднегодовое значение глобальной солнечной радиации (2179,5 кВт·ч/м²/год), за ним следуют северо-западный регион (2137,5 кВт·ч/м²/год) и северо-центральный регион (1909,6

кВт·ч/м²/год). Влияние глобальной солнечной радиации также привело к повышению температуры. Северо-восточный регион обладает наибольшей пригодностью для развития солнечных фотоэлектрических станций, за ним следуют северо-центральный и северо-западный регионы. Наибольшую мощность фотоэлектрических технологий обеспечивает монокристаллический кремний (500,5 ГВт), за ним следуют поликристаллический кремний (462,5 ГВт), теллурид кадмия (362,7 ГВт) и аморфный кремний (81,10202,8 ГВт), имеющий наименьшие значения [8].

Основной целью наших исследований было определение потенциала солнечной энергии в Восточно-Зангезурском экономическом районе Азербайджана. Восточный Зангезур — это историко-географический регион, расположенный в западном Азербайджане, занимающий восточную часть Зангезурского горного хребта. Благодаря своему стратегическому положению, природным ресурсам и древнему культурному наследию, этот район является одним из важных регионов страны. Общая площадь региона составляет приблизительно 7748 км². Каждый административный район имеет свои уникальные природно-географические особенности. Регион известен своим горным рельефом, густыми лесами, богатыми водными ресурсами и биологическим разнообразием. Леса являются основным экологическим богатством Восточного Зангезура. Горно-лесной ландшафт, особенно в Кельбаджарском районе, имеет большое значение для природного баланса региона [9].

Восточный Зангезурский экономический район также богат водными ресурсами. Через регион протекают такие реки, как Хакари, Охчучай и Баситчай. Эти реки важны как источник питьевой воды, так и для сельского хозяйства и промышленности. Однако в эти реки постоянно сбрасываются промышленные отходы. В частности, в Охчучае была обнаружена высокая концентрация тяжелых металлов (ртути, цинка, кадмия), что серьезно повредило флору и фауну реки [10].

Почвы региона высокопродуктивны. Уникальная экосистема Восточного Зангезура является домом для редкой флоры и фауны. Здесь обитают кавказский леопард, горный козел и другие редкие виды животных. Однако незаконная охота и разрушение экосистемы привели к сокращению численности этих видов. Восточный Зангезурский регион выделяется как одна из основных экономико-географических зон Азербайджана со значительным потенциалом возобновляемой энергетики. Его благоприятные природные и климатические условия делают его хорошо подходящим для производства солнечной, ветровой, гидроэнергии, биомассы и геотермальной энергии. Каждый вид энергии вносит существенный вклад в региональный экономический прогресс и энергетическую безопасность [11].

Зангиланский район расположен в юго-западной части Азербайджана и является важным районом с точки зрения потенциала солнечной энергии. Характеристики рельефа и географическое положение района обеспечивают высокий уровень солнечной радиации, что повышает интерес к производству солнечной энергии [12].

Солнечная радиация в значительной степени зависит от продолжительности дня, погодных условий и географического положения. Среднегодовое значение солнечной радиации для Зангиланского района колеблется от 1600 кВт·ч/м² до 1800 кВт·ч/м². Это показатель, обеспечивающий идеальные условия для производства солнечной энергии [13].

Зангиланский район характеризуется большим количеством солнечных дней, особенно весной и летом. В районе 250-280 солнечных дней в году, что очень благоприятно для повышения эффективности солнечных панелей. Большое количество солнечных дней является одним из главных факторов, обеспечивающих постоянное производство солнечной энергии. Поскольку Зангиланский район расположен на юго-западе, влияние солнечной радиации на эту территорию велико. Близость к экватору усиливает интенсивное воздействие солнца

большую часть года. Горные и равнинные территории района характеризуются различной степенью интенсивности солнечной радиации. Равнинные участки более подходят для установки солнечных панелей, поскольку они обеспечивают лучшее поглощение солнечных лучей. Годовое распределение солнечной радиации в Зангиланском районе различно в разные сезоны. Уровень радиации достигает своего пика в весенние и летние месяцы, когда солнечные панели могут обеспечить максимальное производство энергии. Зимой и осенью количество радиации уменьшается, но и в этот период сохраняется определенный потенциал для производства солнечной энергии [13].

Кельбаджарский район расположен в западной части Азербайджана, в высокогорном районе, имеющем важное стратегическое значение. Район находится в пределах Карабахского горного хребта и граничит с Лачинским районом на востоке и Арменией на западе. Общая площадь района составляет 3054 км², средняя высота над уровнем моря колеблется от 1500 м до 2000 м [14].

Географическое положение Кельбаджара обеспечивает доступ к обильным природным ресурсам, включая водные запасы. Через регион протекают реки Тартар, Базарчай и их притоки, что делает его одним из самых богатых водными ресурсами районов Азербайджана. Эти реки жизненно важны для гидроэнергетики и орошения сельскохозяйственных угодий. Район также известен своими минеральными источниками, термальными водами и источниками целебной воды, что способствует его потенциалу в сфере оздоровительного туризма и экономического развития. Кельбаджар имеет мягкий горный климат, характеризующийся прохладным летом и холодной зимой. Среднегодовая температура колеблется от 6 до 10°C, со значительным снежным покровом в зимние месяцы. Годовое количество осадков составляет от 600 до 800 мм, что увеличивает водные запасы района и поддерживает круглогодичный речной сток. Горный рельеф играет решающую роль в формировании климата, создавая благоприятные условия как для проектов возобновляемой энергетики, так и для сельскохозяйственной деятельности.

Губадлы — стратегически важный район, расположенный в юго-западной части Азербайджана. Основанный в 1930 г, он занимает площадь 802 км². Район граничит с Лачином на севере, Ходжавендом на северо-востоке, Джебраилом на востоке и Арменией на юге и западе. Территория преимущественно гористая, расположена в южной части Зангезурского горного хребта. Одна из самых высоких вершин района — гора Гарачыг. В Губадлы преобладает умеренно теплый горно-степной климат, характеризующийся жарким и сухим летом и относительно мягкой зимой. Среднегодовая температура колеблется от 10 до 12°C, а годовое количество осадков составляет 600-800 мм, выпадающих преимущественно весной и осенью. В горных районах в зимние месяцы образуется снежный покров, который играет решающую роль в пополнении водных ресурсов района [8].

Губадлы богаты природными ресурсами. Примерно 20-25% их территории покрыто лесами, состоящими из дуба, грецкого ореха, вяза и других ценных видов деревьев. В районе обитает разнообразная дикая фауна, включая оленей, горных козлов, медведей, лис и различные виды птиц. Район также обладает значительным сельскохозяйственным потенциалом. Плодородные равнины пригодны для выращивания сельскохозяйственных культур, а лесные ресурсы и пастбища поддерживают животноводство [15].

Губадлы богаты водными ресурсами. Главными реками, протекающими через район, являются реки Хакари и Баргушад, имеющие жизненно важное значение для сельскохозяйственного орошения и производства гидроэлектроэнергии. В районе также имеется множество источников и пресной воды, которые обеспечивают питьевой водой и поддерживают различные виды экономической деятельности [16].

Губадлы занимает важное место в стратегии Азербайджана по возобновляемым источникам энергии. Его географическое положение и природные условия создают благоприятные возможности для развития альтернативных источников энергии, включая солнечную, ветровую, гидро- и биомассу. Солнечная энергия — с 2500-2800 ч солнечного света в год Губадлы хорошо подходит для проектов солнечной энергетики. Внедрение систем солнечной энергии может внести значительный вклад в энергетическую устойчивость региона.

Ветровая энергия — горный рельеф и частые ветры делают район идеальным для выработки ветровой энергии. Ветряные турбины могут быть установлены в высокогорных районах для производства чистой возобновляемой энергии.

Гидроэнергетика — стабильное течение рек Хакари и Баргушад предоставляет отличную возможность для строительства малых гидроэлектростанций, которые могли бы улучшить энергетическую инфраструктуру района.

Биомасса – лесные ресурсы, сельскохозяйственные отходы и органические материалы в Губадлы могут быть использованы для производства биоэнергии. Такой подход не только предлагает альтернативный источник энергии, но и обеспечивает эффективное управление отходами.

Губадлы – это не только район природного и исторического значения, но и стратегически важная территория. Освобожденный от оккупации, район в настоящее время проходит масштабную реконструкцию и перепланировку. Значительные инвестиции осуществляются в современные инфраструктурные проекты, развитие возобновляемой энергетики и охрану окружающей среды [17].

Ожидается, что географическое положение района, обилие природных ресурсов и потенциал возобновляемой энергетики внесут существенный вклад в экономический рост и энергетическую безопасность Азербайджана. Продолжающиеся работы по восстановлению превратят Губадлы в процветающий район, обеспечив его интеграцию в более широкую структуру развития страны [17].

Материал и методы исследования

Общая площадь Восточно-Зангезурского экономического района составляет приблизительно 7748 км². Для расчета солнечной радиации и производства солнечной энергии на 20 марта 2024 года необходимо рассчитать следующие параметры: склонение (δ), углы падения солнечных лучей и другие факторы.

1. Вычисление угла солнечного склонения (δ) 20 марта 2024 г [18]: угол солнечного склонения представляет собой угол, под которым солнечные лучи падают на Землю, изменяясь в течение года в зависимости от положения Земли на ее орбите. Для расчета угла солнечного склонения используется следующая формула [19]:

$$\delta = 23.44^\circ \times \sin\left(\frac{360^\circ}{365} \times (N + 10)\right) \quad (1)$$

где N — день года. Для 20 марта N = 79, так как это 79 день года, 23,44° представляет собой максимальный наклон Земли относительно плоскости ее орбиты.

2. Расчет солнечного часового угла (H): солнечный часовой угол H представляет собой положение Солнца относительно заданного меридиана в определенное время суток. Формула 2 для расчета часового угла [20]:

$$H = 15^\circ \times (T - 12) \quad (2)$$

где T — время суток в часах.

3. Расчет зенитного угла (θ): солнечный часовой угол Зенитный угол представляет собой угол между солнцем и точкой, расположенной прямо над головой (зенитом). Для расчета зенитного угла используется формула 3 [21]:

$$\theta = \arccos(\sin(\varphi) \times \sin(\delta) + \cos(\varphi) \times \cos(\delta) \times \cos(H)) \quad (3)$$

где φ — географическая широта местоположения, δ — угол солнечного склонения, H — солнечный часовой угол, равный 0° .

4. Расчет солнечной радиации (E_d): солнечная радиация — это количество энергии, получаемой от Солнца на единицу площади. Для расчета солнечной радиации мы используем базовое значение солнечной радиации $G_0 = 1361 \text{ Вт/м}^2$ и зенитный угол θ , который мы только что рассчитали. Формула 4 для расчета солнечной радиации [22]:

$$E_d = G_0 \times \cos(\theta) \quad (4)$$

где G_0 — базовое значение солнечной радиации, θ — зенитный угол.

Результаты и обсуждение

Зангиланский район обладает высоким потенциалом для производства солнечной энергии. Обширные равнины района предоставляют идеальные условия для строительства солнечных электростанций. В частности, использование солнечной энергии предлагается для удовлетворения энергетических потребностей сельскохозяйственного и промышленного секторов Зангилана. Установка солнечных панелей поможет защитить окружающую среду, снизить затраты на энергию и обеспечить энергетическую независимость [23, 24].

Используя формулу (1) для 20 марта 2024 г. мы вычислили угол солнечного склонения для Зангеланского района:

$$\begin{aligned} \delta &= 23.44^\circ \times \sin\left(\frac{360^\circ}{365} \times (79 + 10)\right) \\ \delta &= 23.44^\circ \times \sin(87.6^\circ) \\ \delta &= 23.44^\circ \times 0.998 \approx 23.34^\circ \end{aligned}$$

Таким образом, угол солнечного склонения 20 марта составляет приблизительно $23,34^\circ$. Для расчета солнечного часового угла для Зангелана будем использовать $T=12$, что соответствует 12:00.

$$H = 15^\circ \times (12 - 12) = 0^\circ$$

Таким образом, в 12:00 часовой угол в Зангилане равен 0° . Для расчета зенитного угла для Зангеланского района использовали формула 3. Где: φ — географическая широта местоположения для Зангилана составляет $39,4^\circ$, δ — угол солнечного склонения, который мы рассчитали как $23,34^\circ$. Подставляя эти данные в формулу 3, мы получили нижеследующий результат:

$$\theta = \arccos(\sin(39.4^\circ) \times \sin(23.34^\circ) + \cos(39.4^\circ) \times \cos(23.34^\circ) \times \cos(0^\circ)) = 16.2^\circ$$

Таким образом, зенитный угол 20 марта 2024 г. в 12:00 составляет приблизительно 16.2° . Расчет солнечной радиации проводился по формуле 4:

$$E_d = 1361 \times 0,961 = 1309,5 \text{ Вт/м}^2$$

Таким образом, солнечная радиация в Зангиране 20 марта в 12:00 составляет приблизительно 1309,5 Вт/м² (Рисунок 1).

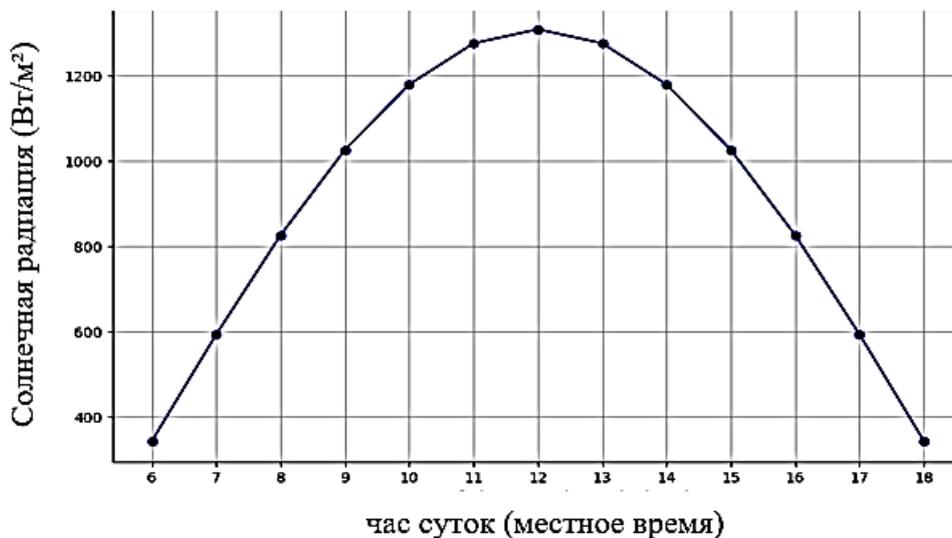


Рисунок 1. Солнечная радиация в Зангиране (20 марта 2024 г.)

Кельбаджарский район. Возобновляемые источники энергии в Кельбаджаре соответствуют долгосрочной стратегии энергетической безопасности Азербайджана. Использование гидроэнергии, солнечной, ветровой и биомассы может помочь снизить зависимость от ископаемого топлива, одновременно повышая экологическую устойчивость региона. Развитие возобновляемой энергетики также играет ключевую роль в стимулировании экономического роста и создании рабочих мест в регионе.

Анализ солнечной радиации в Кельбаджаре 20 марта 2024 г. Для анализа используем аналогичные шаги, что и для Зангирана, корректируя расчеты с учетом широты Кельбаджара. Географическая широта Кельбаджара составляет приблизительно 40,1°. Угол солнечного склонения для Кельбаджарского района на 20 марта:

$$\delta = 23.44^\circ \times \sin\left(\frac{360^\circ}{365} \times (79 + 10)\right) = 0$$

Подставляя в формулу: $\delta = 23.44^\circ \times 0.998 \approx 23.34^\circ$

Таким образом, угол солнечного склонения в Кельбаджаре составляет приблизительно 23,34°. Солнечный часовой угол в 12:00 часовой угол в Кельбаджаре равен 0°:

$$H = 15^\circ \times (12 - 12) = 0^\circ$$

Используя формулу 3 вычисляем зенитный угол для Кельбаджарского района:

$$\theta = \arccos(\sin(40.1^\circ) \times \sin(23.34^\circ) + \cos(40.1^\circ) \times \cos(23.34^\circ) \times \cos(0^\circ)) = 17.3^\circ$$

Таким образом, зенитный угол для Кельбаджарского района составляет приблизительно 17,3° в 12:00. Солнечная радиация рассчитывалась с использованием базовой солнечной постоянной $G_0 = 1361$ Вт/м² и зенитного угла:

$$Ed = 1361 \times \cos 17.3^\circ$$
$$Ed = 1361 \times 0.955 = 1299.2 \text{ Вт/м}^2$$

Определено, что солнечная радиация в Кальбаджаре 20 марта в 12:00 составляет приблизительно 1299,2 Вт/м².

Губадлинский район. Проводился расчет солнечного излучения и зенитного угла для Губадлы 20 марта 2024 г. (Таблица, Рисунок 2).

Таблица

ПОЧАСОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ГУБАДЛИНСКОМУ РАЙОНУ (20 марта 2024 г.)

Время, ч	Часовой угол, H	Зенитный угол, θ	Солнечное излучение, E_d , Вт/м ²
6:00	-90°	108.05°	0
9:00	-45°	70.39°	465.36
12:00	0°	39.2°	1057.40
15:00	45°	70.39°	465.36
18:00	90°	108.05°	0

Широта (ϕ): 39,2° (приблизительная географическая широта региона Губадлы). Солнечное склонение (δ): 0° (соответствует весеннему равноденствию). Солнечная постоянная (G_0): 1361 Вт/м² (средняя солнечная энергия, достигающая Земли). Часовые углы (H): Они представляют положение Солнца в разное время суток. В 6:00 и 18:00 солнце находится в низкой точке, что приводит к зенитному углу, превышающему 90°. Таким образом, прямое солнечное излучение не достигает поверхности. В 12:00 солнце находится в своей наивысшей точке с зенитным углом 39,2°. Пик излучения 1057,40 Вт/м² приходится на полдень. Значения излучения утром и вечером значительно ниже из-за большего зенитного угла.

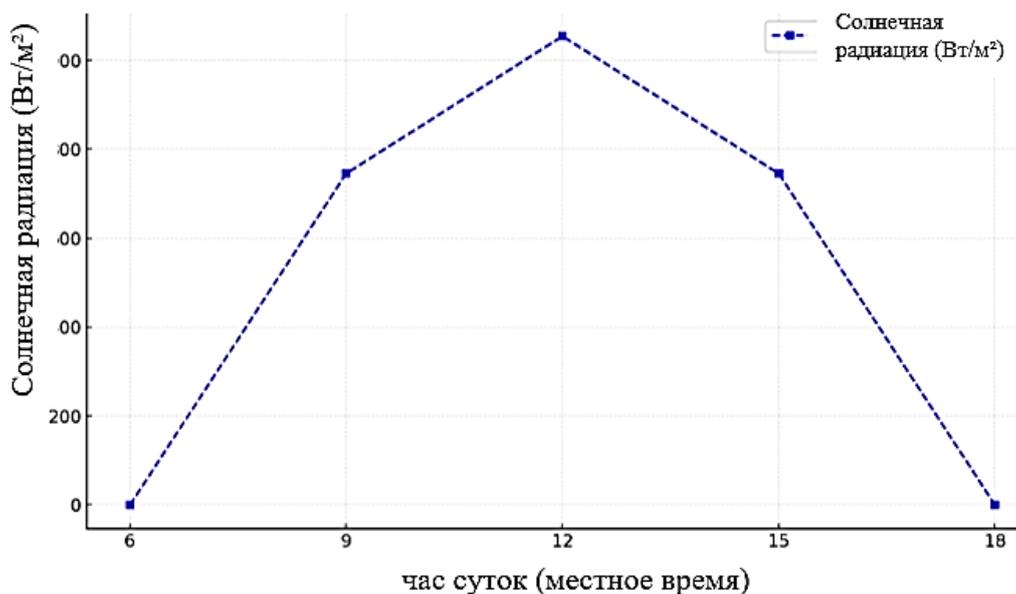


Рисунок 2. Солнечная радиация в Губадлы (20 марта 2024 г.)

Анализ энергетического потенциала и предлагаемых установок Восточно-Зангезурского экономического района. Губадлы, Зангилян и Кельбаджар, расположенные в Азербайджане, являются идеальными регионами для развития солнечной энергетики благодаря своему географическому положению, климатическим условиям и потенциалу солнечной радиации. Эти районы получают значительное количество солнечного света в течение всего года, что делает их подходящими для проектов возобновляемой энергетики, таких как установка солнечных панелей. Ниже представлен анализ энергетического потенциала и предлагаемых

установок. Для оценки выработки энергии мы предполагаем установку солнечных панелей площадью 1 га (10 000 м²) с эффективностью (η) 18%. Используется формула 5 [25]:

$$P = E_d \times A \times \eta \quad (5)$$

где, P - выходная мощность (Вт); E_d - солнечное излучение (Вт/м²); A - площадь панели (м²); η - КПД панели. Годовая выработка энергии оценивается с использованием формулы 6 [26]:

$$E_{\text{год}} = P \times \text{Годовое количество солнечных часов} \quad (6)$$

Предполагая 2000 солнечных часов в год, результаты рассчитываются ниже. Расчеты потенциала солнечной энергии [26]:

а. Кельбаджар $P = 1299.2 \cdot 10,000 \cdot 0.18 = 2,338,560 \text{ W} = 2.34 \text{ МВт}$

$$E_{\text{год}} 2.34 \cdot 2000 = 4680 \text{ МВт/год}$$

б. Зангилян $P = 1309.5 \cdot 10,000 \cdot 0.18 = 2,357,100 \text{ W} = 2.36 \text{ МВт}$

$$E_{\text{год}} = 2.36 \cdot 2000 = 4720 \text{ МВт/год}$$

в. Губадлы $P = 1057.4 \cdot 10,000 \cdot 0.18 = 1,903,320 \text{ W} = 1.90 \text{ МВт}$

$$E_{\text{год}} = 1.90 \cdot 2000 = 3806.6 \text{ МВт/год}$$

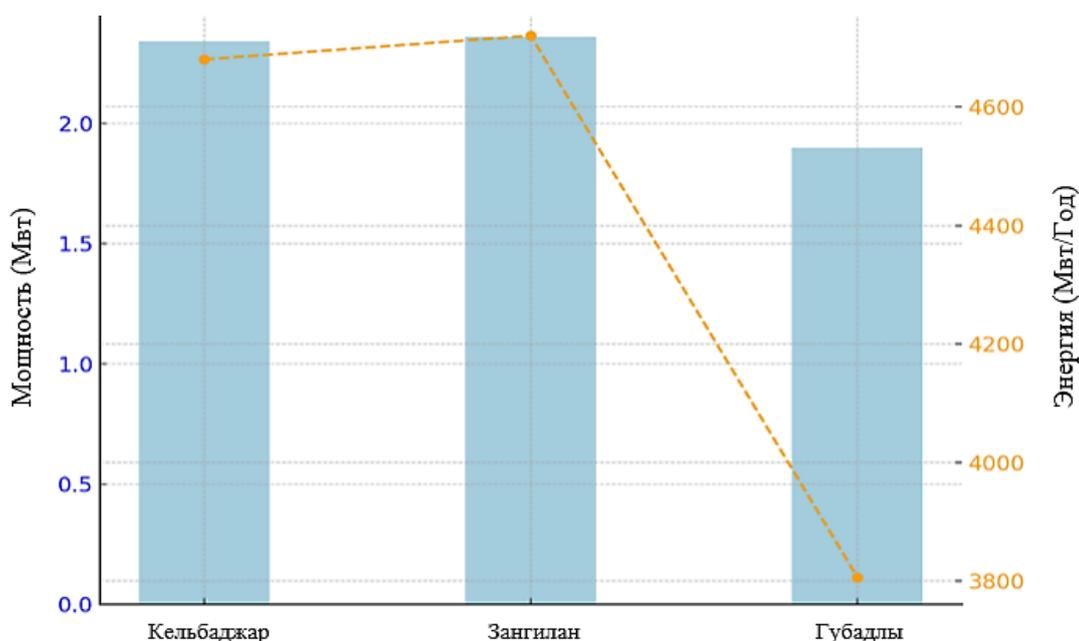


Рисунок 3. Потенциал годовой выработки солнечной энергии в Восточно-Зангезурском экономическом районе

Восточно-Зангезурский экономический район обладает значительным потенциалом для производства солнечной энергии, с предполагаемой суммарной годовой выработкой около 13 206,6 МВт/год. Использование этой энергии будет способствовать достижению целей Азербайджана в области возобновляемой энергетики и внесет вклад в устойчивое развитие этих регионов. В заключение, ресурсная обеспеченность является ключевой движущей силой эффективности развития регионов и страны в целом. Особенно с учетом дифференцированного состояния развития различных ресурсов регионов, необходимо проводить углубленный анализ в сочетании с такими факторами, как политика и география [27].

Заключение

Административные районы Зангилян, Кельбаджар и Губадли, входящие в Восточно-Зангезурский экономический район обладают значительным потенциалом для производства солнечной энергии, которая будет способствовать реализации стратегии Азербайджана в области возобновляемой энергетики. Расчеты проводились за 20 марта 2024 г, что соответствует весеннему равноденствию. На основе результатов исследования установлено, что годовая выработка энергии с 1 га (10 000 м²) солнечных панелей в этих районах составляет в общей сложности 13 206,6 МВт. В Зангиляне (4720 МВт/год) и Кельбаджаре (4680 МВт/год) наблюдаются более высокие уровни солнечной радиации, что приводит к увеличению мощности производства энергии. Использование солнечной энергии в этих районах значительно сократит выбросы парниковых газов, способствуя охране окружающей среды и достижению целей в области энергетической безопасности и устойчивого развития. Кроме того, эта технология снизит затраты на энергию и будет стимулировать экономическое развитие региона. Исследование подчеркивает, что установка солнечных панелей в Зангиляне, Кельбаджаре и Губадли не только увеличивает производство возобновляемой энергии, но и соответствует долгосрочной энергетической стратегии Азербайджана.

Список литературы:

1. Järvinen M., Paulomäki H., Laitila E., Popov G., Golroudbary S. P., Lundström M., Wilson B. P., Talala R., Sadiqa A., Apajalahti E., Dańkowska A. Solar Energy // Designing Renewable Energy Systems within Planetary Boundaries. Green Energy and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69856-9_4
2. Hajou A., El Mghouchi Y. Solar energy potential assessment in the MENA and Mediterranean Regions // Journal of King Saud University–Engineering Sciences. 2025. V. 37. №7. P. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s44444-025-00052-4>
3. Reddy B. N. S., Gautam K., Pachauri N. Solar potential assessment using machine learning and climate change projections for long-term energy planning // Scientific Reports. 2025. V. 15. №1. P. 39935. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23661-0>
4. Hosseini A., Ramezani F., Mirhosseini M. Solar and wind energy potential assessment for Razavi Khorasan Province in Iran // Journal of Central South University. – 2024. – Т. 31. – №. 6. – С. 2027-2038. <https://doi.org/10.1007/s11771-023-5535-x>
5. Alemu A. G., Tesfa T. G., Ayalew A. B., Nallamothu R. B., Ayalew T. S., Wassie H. M. Assessment of solar energy potential for Bahir Dar city, Ethiopia // Scientific Reports. 2024. V. 14. №1. P. 22750. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74433-1>
6. Penjiyev A. M., Orazov P. O. Solar Energy Resource Potential of the Garabogazköl Gulf in the Caspian Sea // Geography and Natural Resources. 2025. V. 46. №2. P. 212-219. <https://doi.org/10.1134/S1875372825700234>
7. Xu B., Ning H., Qiu Z., Yang X., Qian J., Dou B., Gu D., Wang Y. Research on the Application Potential of Solar Energy and Sustainability of District Energy in Severe Cold Region. // Proceedings of the 12th International Conference on Cold Climate HVAC & Energy (V. 1). CCHVAC 2025. Environmental Science and Engineering. 2025. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-95-3249-0_18
8. Salihu M. K., Danladi A., Medugu D. W. Regional-based potential assessment for solar photovoltaic generation in northern part of Nigeria using satellite imagery data // Bulletin of the National Research Centre. 2024. V. 48. P. 132. <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01291-2>
9. Eminov Z. N., Samedov G. M. Geographical Encyclopedia. Chasioglu: Multimedia, 2012.

10. State Program on the Great Return to the Liberated Territories of the Republic of Azerbaijan. <https://e-qanun.az/framework/52757>
11. Həsənov M. S., Rəhimov X. Ş. Azərbaycan Respublikasının coğrafiyası. V. III. Regional coğrafiya. Bakı. 2015.
12. Azərbaycan Respublikasının geomorfoloji xəritəsi. Bakı. 2017.
13. Azərbaycan Respublikasının iqlim xəritəsi. Bakı. 2018.
14. Azərbaycan Respublikasının landşaft xəritəsi. Bakı. 2017.
15. Azərbaycan Respublikasının torpaq atlası. Bakı. 2007.
16. Talibzadə, A. Qarabağın su ehtiyatlarının ekoloji vəziyyəti, İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə fəvqəladə risklər. Elmi Konfrans. Bakı. 2021. S. 155-156.
17. Xəlilova, A. Qarabağda erməni vandalizminin nəticələri. Qarabağın biomüxtəlifliyi, torpağı və su ehtiyatları; bu günü və gələcəyi. Onlayn konfrans. Bakı. 2021. S. 149.
18. Global E. V. Outlook International Energy Agency, 2020.
19. Kylili A., Fokaides P. A. Investigation of building integrated photovoltaics potential in achieving the zero energy building target // Indoor and built environment. 2014. V. 23. №1. P. 92-106. <https://doi.org/10.1177/1420326X13509392>
20. Samanta B., Al Balushi K. R. Estimation of incident radiation on a novel spherical solar collector // Renewable Energy. 1998. V. 14. №1-4. P. 241-247. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00073-1](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00073-1)
21. Mahto R. V., Sharma D. K., Xavier D. X., Raghavan R. N. Improving performance of photovoltaic panel by reconfigurability in partial shading condition // Journal of Photonics for Energy. 2020. V. 10. №4. P. 042004-042004. <https://doi.org/10.1117/1.JPE.10.042004>
22. Satpathy P. R., Jena S., Jena B., Sharma R. Comparative study of interconnection schemes of modules in solar PV array network // 2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT). IEEE, 2017. P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074185>
23. Tibbits T. N., Beutel P., Grave M., Karcher C., Oliva E., Siefer G., Dobrich A. New efficiency frontiers with wafer-bonded multi-junction solar cells // Proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference. 2014. P. 1975-1978.
24. Asnil A., Hazman H. The Performance of the Solar Panel Installation Configuration in the Face of Lighting Changes // MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering. 2023. V. 5. №1. P. 85-100. <https://doi.org/10.46574/motivection.v5i1.176>
25. Abdulmawjood K., Alsadi S., Member S., Refaat S. S. Characteristic study of solar photovoltaic array under different partial shading conditions // IEEE Access. 2022. V. 10. P. 6856-6866. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142168>
26. Fu P., Rich P. M. A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry // Computers and electronics in agriculture. 2002. V. 37. №1-3. P. 25-35.
27. Məmmədov A. Şərqi Zəngəzur və Qarabağ iqtisadi rayonlarında su ehtiyatlarından və yaşıl enerji potensialından kompleks istifadə (Həkəri və Bərgüşad çaylarının nümunəsində) // Şuşa və ətraf ərazilərin biomüxtəlifliyi, torpaq və su ehtiyatları: gələcəyə baxış: mövzusunda beynəlxalq konfransın materialları. Bakı. 2022. S. 263-264.

References:

1. Järvinen, M., Paulomäki, H., Laitila, E., Popov, G., Golroudbary, S. P., Lundström, M., Wilson, B. P., Talala, R., Sadiqa, A., Apajalahti, E., & Dańkowska, A. (2025). Solar Energy. In *Designing Renewable Energy Systems within Planetary Boundaries. Green Energy and Technology. Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69856-9_4

2. Hajou, A., & El Mghouchi, Y. (2025). Solar energy potential assessment in the MENA and Mediterranean Regions. *Journal of King Saud University–Engineering Sciences*, 37(7), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s44444-025-00052-4>
3. Reddy, B. N. S., Gautam, K., & Pachauri, N. (2025). Solar potential assessment using machine learning and climate change projections for long-term energy planning. *Scientific Reports*, 15(1), 39935. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23661-0>
4. Hosseini, A., Ramezani, F., & Mirhosseini, M. (2024). Solar and wind energy potential assessment for Razavi Khorasan Province in Iran. *Journal of Central South University*, 31(6), 2027-2038. <https://doi.org/10.1007/s11771-023-5535-x>
5. Alemu, A. G., Tesfa, T. G., Ayalew, A. B., Nallamotheu, R. B., Ayalew, T. S., & Wassie, H. M. (2024). Assessment of solar energy potential for Bahir Dar city, Ethiopia. *Scientific Reports*, 14(1), 22750. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74433-1>
6. Penjiyev, A. M., & Orazov, P. O. (2025). Solar Energy Resource Potential of the Garabogazköl Gulf in the Caspian Sea. *Geography and Natural Resources*, 46(2), 212-219. <https://doi.org/10.1134/S1875372825700234>
7. Xu, B., Ning, H., Qiu, Z., Yang, X., Qian, J., Dou, B., Gu, D. & Wang, Y. (2025). Research on the Application Potential of Solar Energy and Sustainability of District Energy in Severe Cold Region. In *Proceedings of the 12th International Conference on Cold Climate HVAC & Energy (1). CCHVAC 2025. Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore*, https://doi.org/10.1007/978-981-95-3249-0_18
8. Salihu, M. K., Danladi, A., & Medugu, D.W. (2024). Regional-based potential assessment for solar photovoltaic generation in northern part of Nigeria using satellite imagery data // *Bulletin of the National Research Centre*. V. 48. 132. <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01291-2>
9. Eminov, Z. N., & Samedov, G. M. (2012). *Geographical Encyclopedia*. Chasioglu: Multimedia.
10. State Program on the Great Return to the Liberated Territories of the Republic of Azerbaijan. <https://e-qanun.az/framework/52757>
11. Gasanov M. S., & Ragimov Kh. Sh. (2015). *Geografiya Azerbaidzhanskoi Respubliki*. III. Regional'naya geografiya. Baku. (in Azerbaijani).
12. *Geomorfologicheskaya karta Azerbaidzhanskoi Respubliki* (2017). Baku. (in Azerbaijani).
13. *Klimaticheskaya karta Azerbaidzhanskoi Respubliki* (2018). Baku. (in Azerbaijani).
14. *Landshaftnaya karta Azerbaidzhanskoi Respubliki* (2017). Baku. (in Azerbaijani).
15. *Pochvennyi atlas Azerbaidzhanskoi Respubliki* (2007). Baku. (in Azerbaijani).
16. Talibzade, A. (2021). Ekologicheskoe sostoyanie vodnykh resursov Karabakha, chrezvyчайnye riski na territoriyakh, osvobozhdennykh ot okkupatsii. In *Nauchnaya konferentsiya, Baku*, 155-156. (in Azerbaijani).
17. Khalilova, A. *Posledstviya armyanskogo vandalizma v Karabakhe. Bioraznoobrazie, pochvennye i vodnye resursy Karabakha; nastoyashchee i budushchee*. Onlain-konferentsiya. Baku. 2021. S. 149. (in Azerbaijani).
18. Global, E. V. (2025). *Outlook 2020 (International Energy Agency, 2020)*.
19. Kylili, A., & Fokaides, P. A. (2014). Investigation of building integrated photovoltaics potential in achieving the zero energy building target. *Indoor and built environment*, 23(1), 92-106. <https://doi.org/10.1177/1420326X13509392>
20. Samanta, B., & Al Balushi, K. R. (1998). Estimation of incident radiation on a novel spherical solar collector. *Renewable Energy*, 14(1-4), 241-247. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00073-1](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00073-1)

21. Mahto, R. V., Sharma, D. K., Xavier, D. X., & Raghavan, R. N. (2020). Improving performance of photovoltaic panel by reconfigurability in partial shading condition. *Journal of Photonics for Energy*, 10(4), 042004-042004. <https://doi.org/10.1117/1.JPE.10.042004>
22. Satpathy, P. R., Jena, S., Jena, B., & Sharma, R. (2017). Comparative study of interconnection schemes of modules in solar PV array network. In *2017 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074185>
23. Tibbits, T. N., Beutel, P., Grave, M., Karcher, C., Oliva, E., Siefer, G., ... & Dobrich, A. (2014). New efficiency frontiers with wafer-bonded multi-junction solar cells. In *Proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference* (pp. 1975-1978).
24. Asnil, A., & Hazman, H. (2023). The Performance of the Solar Panel Installation Configuration in the Face of Lighting Changes. *MOTIVATION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1), 85-100. <https://doi.org/10.46574/motivaction.v5i1.176>
25. Abdulmawjood, K., Alsadi, S., Member, S., & Refaat, S. S. (2022). Characteristic study of solar photovoltaic array under different partial shading conditions. *IEEE Access*, 10, 6856-6866. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142168>
26. Fu, P., & Rich, P. M. (2002). A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. *Computers and electronics in agriculture*, 37(1-3), 25-35.
27. Mamedov, A. (2022). Kompleksnoe ispol'zovanie vodnykh resursov i potentsiala zelenoi energetiki rek Vostochno-Zangezurskogo i Karabakhskogo ekonomicheskikh regionov (na primere rek Khakari i Bargushad) In *Bioraznoobrazie, pochvennyye i vodnye resursy Shushi i okrestnostei: vzglyad v budushchee: Materialy mezhdunarodnoi konferentsii, Baku*, 263-264. (in Azerbaijani).

Поступила в редакцию
11.01.2026 г.

Принята к публикации
22.01.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Юсифова М. М., Ализаде Ш. Н. Потенциал солнечной энергии Восточно-Зангезурского экономического района Азербайджана // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №3. С. 81-94. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/08>

Cite as (APA):

Yusifova, M., & Alizade, Sh. (2026). Solar Energy Potential of the Eastern Zangezur Economic Region of Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*, 12(3), 81-94. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/08>