

М.М. Юсифова* , Ш.Н. Ализаде 

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

*e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОЭНЕРГИИ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ВОСТОЧНО-ЗАНГЕЗУРСКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Быстрый рост мирового спроса на энергию и истощение запасов ископаемого топлива подчеркивают важность биомассы – сельскохозяйственных побочных продуктов – как возобновляемого источника энергии. Благоприятные почвенно-климатические условия Восточно-Зангезурского экономического района, крупного сельскохозяйственного региона, занимающего важное место в экономике Азербайджана, создали широкие возможности для развития биоэнергетики, как альтернативного источника энергии в регионе. В целях внедрения устойчивого управления сельскохозяйственными отходами в этом экономическом районе, объявленной «Зеленой зоной», была поставлена задача определить потенциал производства биоэнергии из растительных остатков. Расчет производства биогаза и потенциала биоэнергии из растительных остатков проводился на основе методологии BEFS Rapid Appraisal. Было установлено, что в Восточно-Зангезурском экономическом районе ежегодно образуется 91431,65 т растительных отходов, из которых наибольшее количество отходов остается на полях зерновых и бобовых культур (49384 т/год), пшеницы (38751 тонна/год) и сахарной свеклы (1424,9 т/год). Было установлено, что экономический район имеет потенциал для производства 101592,992 МВт·ч/год биоэнергии из всех растительных отходов, из которых 43058,111 МВт·ч/год биоэнергии может быть получено из остатков пшеницы, 54871,261 МВт·ч/год из остатков зерновых и бобовых культур и 1583,443 МВт·ч/год из остатков сахарной свеклы. Учитывая потенциал биогаза в сокращении выбросов, связанных с отходами, в качестве углеродно-нейтральной альтернативы ископаемому топливу, годовой потенциал биогаза в экономическом регионе был оценен в 18 286 330 м³, что может сократить выбросы углекислого газа на 307 210 тонн CO₂-эквивалента в год и способствовать снижению последствий изменения климата.

Ключевые слова: отходы растениеводства, биоэнергетика, сокращение выбросов углерода.

M.M. Yusifova*, Sh.N. Alizade

Baku State University, Faculty of Ecology and Soil Science, Baku, Azerbaijan

*e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru

Prospects for Bioenergy Production from Crop Waste in the East Zangezur Economic Region of Azerbaijan

The rapid growth of global energy demand and the depletion of fossil fuel reserves highlight the importance of biomass–agricultural byproducts–as a renewable energy source. The favorable soil and climate conditions of the East Zangezur economic region, a major agricultural area that plays a significant role in the Azerbaijani economy, have created significant opportunities for the development of bioenergy as an alternative energy source in the region. To implement sustainable agricultural waste management in this economic region, designated a “Green Zone,” the objective was to determine the potential for bioenergy production from crop residues. Biogas production and bioenergy potential from crop residues were calculated using the BEFS Rapid Appraisal methodology. It was found that 91431.65 tons of plant waste are generated annually in the East Zangezur economic region, of which the largest amount of waste remains in the fields of grain and legume crops (49384 tons/year), wheat (38751 tons/year) and sugar beet (1424.9 tons/year). It was found that the economic region has the potential to produce 101592.992 MWh/year of bioenergy from all plant waste, of which 43058.111 MWh/year of bioenergy can be obtained from wheat residues, 54871.261 MWh/year from grain and legume residues and 1583.443 MWh/year from sugar beet residues. Considering the potential of biogas to reduce waste-related emissions as a carbon-neutral alternative to fossil fuels, the annual biogas potential in the economic region was estimated at 18,286,330 m³, which could reduce carbon dioxide emissions by 307,210 tonnes of CO₂ equivalent per year and contribute to climate change mitigation.

Keywords: plant wastes, bioenergy, carbon emission reduction.

М.М. Юсифова*, Ш.Н. Ализаде

Баку мемлекеттік университеті, экология және топырақтану факультеті, Баку, Әзірбайжан

*e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru

Әзірбайжанның Шығыс Зангезур экономикалық аймағындағы дақыл қалдықтарынан биоэнергия өндірудің перспективалары

Әлемдік энергияға деген сұраныстың тез өсуі және қазба отын қорларының азаюы биомасаның – ауыл шаруашылығының қосалқы өнімдерінің – жаңартылатын энергия көзі ретіндегі маңыздылығын көрсетеді. Әзірбайжан экономикасында маңызды рөл атқаратын ірі ауыл шаруашылығы аймағы болып табылатын Шығыс Зангезур экономикалық аймағының қолайлы топырақ-климаттық жағдайлары аймақта балама энергия көзі ретінде биоэнергияны дамыту үшін айтарлықтай мүмкіндіктер туғызды. «Жасыл аймақ» деп белгіленген бұл экономикалық аймақта ауыл шаруашылығы қалдықтарын тұрақты басқаруды енгізудің мақсаты дақыл қалдықтарынан биоэнергия өндіру әлеуетін анықтау болды. Дақыл қалдықтарынан биогаз өндіру және биоэнергия әлеуеті BEFS жедел бағалау әдіснамасын қолдана отырып есептелді. Шығыс Зангезур экономикалық аймағында жыл сайын 91431,65 тонна өсімдік қалдықтары түзілетіні анықталды, оның ішінде қалдықтардың ең көп мөлшері дәнді және бұршақ дақылдары (жылына 49384 тонна), бидай (жылына 38751 тонна) және қант қызылшасы (жылына 1424,9 тонна) алқаптарында қалады. Экономикалық аймақтың барлық өсімдік қалдықтарынан жылына 101592,992 МВт/сағ биоэнергия өндіру әлеуеті бар екені анықталды, оның ішінде 43058,111 МВт/сағ биоэнергияны бидай қалдықтарынан, 54871,261 МВт/сағ дәнді және бұршақ дақылдарының қалдықтарынан және 1583,443 МВт/сағ қант қызылшасының қалдықтарынан алуға болады. Биогаздың қазба отындарына көміртегі-бейтарап балама ретінде қалдықтармен байланысты шығарындыларды азайту әлеуетін ескере отырып, экономикалық аймақтағы жылдық биогаз әлеуеті 18 286 330 м³ деп бағаланды, бұл көмірқышқыл газының шығарындыларын жылына 307 210 тонна СО₂ эквивалентіне азайтуға және климаттың өзгеруін азайтуға ықпал етуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: дақыл қалдықтары, биоэнергия, көміртегі шығарындыларын азайту.

Введение

В результате глобализации, расширения международных экономических связей, повышения уровня жизни и роста населения мира проблемы энергетической безопасности становятся все более острыми. Хотя существующие запасы углеводородов могут удовлетворить текущий спрос, их быстрое истощение представляет потенциальную угрозу глобальной энергетической безопасности в ближайшие 40–50 лет. Антропогенные экологические проблемы, особенно последствия изменения климата, еще больше подчеркивают важность расширения использования альтернативных источников энергии. В этом контексте технологическое совершенствование производства энергии из возобновляемых источников, таких как солнечная, ветровая и биомасса, имеет особое значение (Де Вит & Фаидж, 2010).

Преобразование сельскохозяйственных отходов в биоэнергию снижает экологические риски, способствует энергетической безопасности, подтверждает устойчивое управление отходами и обеспечивает доступ к чистым, доступным и надежным источникам энергии. Использование инновационных технологий для мониторинга

предварительной обработки сырья, оптимизации параметров процесса преобразования и измерения объемов производства биоэнергии позволит улучшить экосистему производства и использования биоэнергии (Авогбеми и др., 2024).

Расширение использования возобновляемых источников энергии и рост глобальных экологических проблем подталкивают страны к коллективным действиям. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) поддерживает расширение сектора возобновляемой энергии, помогая странам разрабатывать соответствующую политику, привлекать инвестиции и предоставлять практические рекомендации по эффективному использованию ресурсов (<https://content.govdelivery.com/accounts/USERE/bulletins/345078e>).

Учитывая прогнозируемое увеличение численности населения мира до 10 миллиардов к 2050 году, ожидается рост мирового сельского хозяйства и ежегодного образования миллионов тонн возобновляемых отходов. Будущая интеграция биопродуктов, полученных из сельскохозяйственных отходов, в агропромышленные системы может снизить образование отходов, повысить эффективность использования ресурсов и устойчивость на протяжении всей цепоч-

ки создания стоимости, а также способствовать развитию экономики замкнутого цикла, минимизируя воздействие на окружающую среду и повышая производительность сельского хозяйства (Грофф и др., 2025).

Согласно базе данных Европейской ассоциации биогаза за 2023 год, сельскохозяйственный сектор вносит значительный вклад в производство биогаза и биометана в Европе: 67% биогаза и 64% биометана получают из сельскохозяйственных культур (<https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/2021-country-reports/>). Это демонстрирует значительную роль сельскохозяйственного сырья, такого как навоз, остатки урожая и другие отходы. В недавно опубликованном отчете Guidehouse «Биогаз 2040 и далее: реалистичный и устойчивый путь к климатической нейтральности» прогнозируется, что к 2040 году сельское хозяйство будет обеспечивать 82% потенциала биогаза: 43% из остатков урожая, 20% из сельскохозяйственных отходов и 19% из навоза. Это демонстрирует устойчивую интеграцию сельскохозяйственного сектора и производства возобновляемого газа (<https://www.europeanbiogas.eu/news/turning-farm-waste-into-renewable-energy-the-alfa-story/>).

Модели государственно-частного партнерства (ГЧП) широко используются в странах по всему миру для содействия производству энергии из биомассы. Эти партнерства в основном реализуются в областях исследований, разработок и инноваций. Кроме того, во многих странах субсидии, гранты и государственные соглашения о закупке электроэнергии играют важную роль в поддержке частного сектора. В Европейском Союзе в рамках программы «Горизонт 2020» было создано государственно-частное партнерство в области биооснованных отраслей промышленности (ГЧП) Европейским Союзом и Консорциумом биооснованных отраслей промышленности (<https://www.etipbioenergy.eu/advanced-bioenergy/>). За период 2014–2020 годов в рамках этого партнерства было объединено 975 миллионов евро финансирования ЕС (программа «Горизонт 2020») и 2,7 миллиарда евро инвестиций частного сектора, что в общей сложности составило 3,7 миллиарда евро. Цель инициативы – обеспечить устойчивое снабжение биомассой путем создания новых цепочек поставок, проведения исследований, повышения эффективности переработки на биофабриках, формирования рынков биопродуктов и разработки соответствующих политических инструментов (ИРЕНА, 2022).

В США Министерство энергетики поддерживает разработку и коммерциализацию биоэнергетических технологий через Управление биоэнергетических технологий (ВЕТО). ВЕТО сотрудничает с университетами и частными компаниями для финансирования исследовательских проектов, пилотных установок и демонстрационных проектов по улучшению биотоплива и биопродуктов ([https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_\(SWERA\)](https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA))).

Социально-экономические последствия использования биомассы не являются однозначно конструктивными. Высокие инвестиционные и капитальные затраты, технологическая зрелость биотоплива, крупномасштабные поставки биомассы, а также политические и нормативные вопросы относятся к числу ключевых проблем. Несмотря на эти проблемы, при наличии правильных стратегий и решений полная переработка биомассы достижима (Раина и др., 2024).

Бразильская программа *RenovaBio* направлена на содействие производству биотоплива путем установления национальных целевых показателей по выбросам углерода и выпуска углеродных кредитов, называемых СВИО. Эта инициатива поддерживает выполнение национальных требований к биотопливу и сокращение выбросов парниковых газов посредством государственно-частного партнерства. На сегодняшний день BNDES предоставила финансовую поддержку в размере 195 миллионов долларов США в рамках программы *RenovaBio* (<https://greenfinancelac.org/resources/news/bndes-renovabio-finances-energy-and-environmental-efficiency-improvements-at-biofuel-plants-in-brazil>).

Сельскохозяйственный сектор производит значительное количество биомассы, включая неиспользованные части фруктов и овощей. Примерно 14% овощей и фруктов ежегодно становятся отходами в глобальном масштабе, что приводит к существенному накоплению пищевых отходов. Поэтому эффективное использование пищевых отходов, таких как овощи и фрукты, может стать способом получения биотоплива и снижения зависимости от ископаемого топлива. В работе Дей и др. (2024) обобщены результаты исследований по разработке биотоплива с использованием различных технологий биоконверсии из овощей и фруктов в качестве сырья.

В работе Саху и др. (2025) исследуется потенциал использования биомассы тика (*Tectona*

grandis) для производства биоэнергии, одновременно решается проблема заражения тиковых плантаций насекомыми-вредителями. Исследуется потенциальная интеграция производства биоэнергии со стратегиями борьбы с вредителями, и подчеркиваются экономические и экологические преимущества этих синергетических подходов, предполагая, что стратегическое использование отходов тика может обеспечить двойные преимущества: устойчивую утилизацию отходов и снижение численности вредителей.

Уллах и др. (2025) в своих исследованиях рассматривают взаимосвязь между глобальной продовольственной безопасностью и производством биоэнергии, с учетом проблем, связанных с ростом населения, изменением климата и социально-экономическим неравенством, различные аспекты продовольственной безопасности, охватывающие доступность, использование и стабильность, а также биоэнергия как возобновляемый источник энергии, получаемый из биологических материалов, тщательно анализируют проблемы устойчивости, связанные с биоэнергетикой, такие как изменения в землепользовании, выбросы парниковых газов и ограниченность ресурсов.

В работе Мурму и др. (2025) показывается, что кормовые культуры могут использоваться для производства биоэнергии, поскольку фермеры уже имеют опыт в методах управления и располагают необходимой инфраструктурой, а также предполагают, что к 2030 году для производства биомассы потребуется около 22,3 миллиона гектаров пахотных земель и пастбищ. Перевод этих площадей под производство биоэнергии может вынудить традиционный сектор кормового животноводства искать новые пахотные земли. А если производство биоэнергии будет поощряться на сельскохозяйственных угодьях, оно может в конечном итоге конкурировать с выпасом крупного рогатого скота.

В исследовании Зиммер и др. (2025) представлена экономическая оценка мобильных установок для предварительной обработки остатков лесозаготовок в Чили. Результаты показывают, что мобильные установки не могут сравниться по экономии масштаба с крупнейшими коммерческими предприятиями, но их модульная конструкция выгодна при меньших мощностях. В Чили они были бы наиболее подходящими для более удаленных мест и для децентрализованных концепций использования.

Саркар и др. (2023) предприняли попытку рассмотреть устойчивое использование сельскохозяйственных отходов для производства биоэнергии, особенно в азиатских странах, таких как Китай, Индия, Вьетнам, Индонезия, Япония, Бангладеш, Шри-Ланка и др. Рассмотрены доступность различных сельскохозяйственных отходов, их потенциал для производства биоэнергии и логистика в ряде азиатских стран, а также проведен SWOT-анализ.

В работах Павая и др. (2025) показывается, что использование биомассы сорняков для получения возобновляемых биоресурсов может стать устойчивым и экономически эффективным подходом. Наземные сорняки, такие как *Parthenium hysterophorus* и *Lantana camara*, представляют собой серьезную проблему в различных системах землепользования по всему миру. В этой работе обобщен потенциал биомассы *Parthenium u L. camara* в производстве биоэнергии в рамках системы переработки отходов в полезные ресурсы. Также обсуждаются инновационные, экономически эффективные и устойчивые стратегии управления и снижения количества сорной биомассы в контексте производства биоэнергии.

Шахзад и др. (2024) в своем обзорной работе рассматривают потенциал передовых технологий преобразования биомассы, с акцентом на термохимические и биохимические процессы как ключевые методы оптимизации стратегий управления сельскохозяйственными отходами. В то время как биологические процессы ограничены длительным временем обработки и низким выходом, термохимические методы сталкиваются с проблемами, связанными с высокими затратами на обработку и температурными требованиями. В обзоре также сравниваются преимущества и проблемы каждого метода для оценки их общей эффективности и пригодности.

Виджаянти и др. (2025) в своих исследованиях использовали вид папоротника (*Stenochlaena palustris*), широко распространен в заболоченных районах Юго-Восточной Азии, которую местные общины обычно используют для приготовления пищи и лекарств только молодые листья, выбрасывая старые листья и стебли, что приводит к накоплению отходов. Впервые был проведен пиролиз этих отходов с целью изучения их потенциала в качестве источника энергии и химических веществ. Кроме того, был проведен эксперимент по пиролизу для исследования влияния температуры на выход продукта и распределение его химических соединений. Соче-

тание кинетических и пиролизных свойств позволили сделать вывод, что остатки *Stenochlaena palustris* потенциально могут стать полезным источником биоэнергии или химических веществ посредством пиролиза.

Джарвинен и др. (2025) в своей работе представили анализ технологий и устойчивых уровней использования биомассы и отходов для производства энергии, а также применений биоэнергетики в области улавливания и хранения углерода, также рассматривается производство материалов и химических веществ таким образом, чтобы это способствовало достижению целей как в области климата, так и в области охраны природы. В заключение они приходят к выводу, что устойчивое использование биомассы ограничено ее значительными потребностями в земельных ресурсах и последующим негативным воздействием на окружающую среду.

Материалы и методы исследования

С учетом исследовательских методологий, применяемых в области биоэнергетики, оценка биоэнергетических ресурсов Азербайджана проводится по следующим направлениям (<https://www.area.gov.az/az/page/yasil-teknologiyalar/biokutle>):

1. Растительные отходы: В Азербайджане биомассу можно получить из растительных отходов, образующихся при выращивании однолетних сельскохозяйственных культур (зерновых, кукурузы, хлопка и др.). Эти отходы могут быть использованы для производства биогаза или твердого биотоплива.

2. Фруктовые и десертные отходы: Фруктовые отходы, образующиеся в регионах выращивания фундука и других плодовых культур, особенно скорлупа фундука, могут быть использованы в качестве сырья для производства энергии или топливных брикетов.

3. Животноводческие отходы: Навоз является одним из основных источников производства биогаза в процессе анаэробного разложения. Полученный биогаз может быть использован для производства электроэнергии и тепла.

4. Лесные отходы: Обрезанные и срубленные части древесины, образующиеся в ходе лесохозяйственной деятельности, рассматриваются как потенциальное сырье для производства биоэнергии.

5. Бытовые сточные воды: Эффективная очистка бытовых сточных вод и их использова-

ние в производстве энергии требует применения современных технологий очистки. Этот процесс играет важную роль как в управлении отходами, так и в обеспечении энергетической безопасности.

6. Твердые бытовые отходы: В международной практике твердые бытовые отходы рассматриваются в качестве сырья для биоэнергетики только при наличии сортировочной инфраструктуры (Отчет об оценке биоэнергетического потенциала Азербайджана, 2024).

Наиболее надежной и широко используемой методологией оценки потенциала производства биогаза из растительных остатков является методология BEFS (Биоэнергетика и продовольственная безопасность), которая также используется в наших исследованиях.

Растительные отходы оцениваются для определения количества потенциального сырья из сельскохозяйственной продукции и отходов переработки, пригодного для производства биоэнергии. В данном случае основное внимание уделяется продуктам, которые производятся регулярно и в больших объемах. Согласно подходу BEFS, использование сельскохозяйственных остатков в целях биоэнергетики не должно оказывать негативного воздействия на продовольственную безопасность, защиту экологического баланса и социально-экономическую стабильность фермерских хозяйств, а, наоборот, должно создавать добавленную стоимость. При оценке сырья для биоэнергетики учитываются три основных показателя: доступное количество сырья; экономическая ценность (альтернативное использование, затраты на сбор и логистику и т.д.); энергетическое качество.

Сельскохозяйственные отходы обычно используются для различных целей, но при переработке в энергию они могут создавать более высокую экономическую ценность. По этой причине методология BEFS рекомендует рассматривать для производства биоэнергии только неиспользованные или неэффективно используемые отходы. То есть, в качестве основы берется расчет реального объема, пригодного для энергетических целей, после вычета отходов, предназначенных для защиты плодородия почвы и других необходимых целей.

Применение этого подхода включает следующие этапы:

- определение среднегодового количества растительных остатков,
- определение отходов, которые должны оставаться на поле для защиты почвы,

- оценка части, предназначенной для более ценных альтернативных целей,
- расчет общего объема отходов, которые могут быть направлены на производство биоэнергии.

Доступные растительные остатки рассчитываются по следующей формуле (BEFS RA, 2014):

$$РОБЭ = \sum PO_{\text{общее}} - PO_s - ROI_{(i-j)} \quad (1)$$

Где:

РОБЭ (тонн/год) – объем растительных остатков, пригодных для производства биоэнергии,

PO_{общее} (тонн/год) – общее количество растительных остатков, образовавшихся за год,

PO_s (тонн/год) – остатки, предназначенные для ухода за почвой и других неэнергетических целей,

ROI_(i-j) – остатки, предназначенные для других альтернативных целей.

Поскольку некоторые виды растений производят более одного типа остатков, при расчете

их биоэнергетического потенциала следует учитывать каждую категорию остатков.

Одним из основных показателей, характеризующих биоэнергетическое сырье, является его способность преобразовываться в энергию. Теплотворная способность каждого типа сырья – точнее, низшая теплотворная способность (НТП) – отражает совокупное воздействие физико-химических факторов, таких как углерод, водород, кислород, азот и сера, а также влажность, летучие вещества и связанный углерод. В исследованиях BEFS НТП считается основным показателем, определяющим энергетическое качество сырья. Здесь различают два типа низшей теплотворной способности (НТП):

1. НТП, получаемая при непосредственном сжигании биомассы или в виде брикетов;
2. Показатель НТП топлива, получаемого из биомассы, такого как биогаз, синтетический газ и биоуголь.

В таблице 1 приведены низшие теплотворные способности различных видов биомассы.

Таблица 1

Низшая теплотворная способность (НТП) различных видов биомассы (Отчет о расчете биоэнергетического потенциала в зеленых энергетических зонах, 2024)

Сырье	Низшая теплотворная способность (НТП)	Сжигание (брикеты/пеллеты, мкг/кг)	Газификация (мкг/кг)
Хлопковая нить	14,5	14,45	18,26
Стебель хлопка	13,63	13,63	16,33
Скорлупа фундука	17,21	18,42	19,93
Шелуха фундука	17,24	18,42	19,93
Шелуха арахиса	15	20,1	19
Кукурузный початок	15,11	20,49	19,08
Кукурузная шелуха	13,31	6,35	17,68
Стебель кукурузы	16,75	22,03	20,36
Рисовая шелуха	13,8	20,03	18,07
Стебель сорго	15,81	23,68	19,63
Солома сорго	16,38	17,25	20,07
Солома ячменя	14,5	16,29	17,5
Пшеничная шелуха	17,8	16,34	21,18
Пшеничная солома	16,63	13,42	20,27

Для сравнения, низшая теплотворная способность некоторых традиционных видов топлива составляет: сырая нефть – 44 МДж/кг, дизельное топливо – 45 МДж/кг, бензин – 46 МДж/кг, природный газ – 55 МДж/кг.

В процессе производства биоэнергии учитываются как электрическая, так и тепловая формы энергии, получаемой в результате переработки биомассы, и определяется потенциальный объем производства на единицу энергии. На этом этапе в качестве основы берутся состав и теплотворная способность топливных газов (биогаза, отходящих газов, природного газа и т. д.).

На основе представленной выше теоретической и методологической основы считается, что оценка биоэнергетического потенциала не должна ограничиваться только количественными показателями ресурсов, а должна проводиться сбалансированным образом с учетом защиты агробиоразнообразия и продовольственной безопасности (Садигов & Маджнунлу, 2023).

Планирование биоэнергетических проектов в чувствительных к природным и сельскохозяйственным условиям районах, таких как Восточно-Зангезурский экономический регион, должно координироваться с факторами землепользования, экосистемных услуг и социально-экономической устойчивости (Гулиев, 2023). Применение методологии BEFS показывает, что более целесообразно привлекать для производства биоэнергии только неиспользуемые или неэффективные ресурсы биомассы. Такой подход позволяет предотвратить ослабление агробиоразнообразия и конкуренцию с производством продуктов питания. На мой взгляд, оценки, основанные на интегрированных пространственных, экономических и энергетических моделях, формируют более реалистичные и применимые результаты для региона. Следовательно, оценка биоэнергетического потенциала на научной основе может стать важным инструментом принятия решений в долгосрочных стратегиях устойчивого развития Восточно-Зангезурского экономического района.

Результаты исследования и их обсуждение

Восточно-Зангезурский экономический район расположен в восточной части Зангезурского плато, окружен Зангезурским горным хребтом в Малом Кавказе, и занимает общую площадь 744 800 га. В состав этого экономического региона входят административные районы Зангилян,

Губадли, Джабраил, Лачин и Калбаджар (Рисунок). Предгорья и равнины исследуемой территории, высота которых достигает 300-400 м, характеризуются жарким летом и мягкой зимой. Средняя температура теплых месяцев составляет 24°-26°С, а средняя температура холодных месяцев – 1,0°-3,9°С. Климат низменных и среднегорных районов умеренный, со средней температурой 12-10°С в теплые месяцы и 1-2°С в холодные (Абдурахманов, 2023).

Рисунок 1

Карта расположения исследуемой территории



При характеристике растительного покрова объекта исследования в высокогорной зоне района встречаются альпийские и субальпийские луга, в среднегорной зоне широко распространены широколиственные леса и послелесные луговые кустарники, а в предгорьях и низменных горных зонах – степные и сухостепные растения (Ибадуллаева и др., 2023).

Почвенный покров Восточно-Зангезурского экономического района можно охарактеризовать следующим образом: в высокогорной зоне распространены различные подтипы горно-луговых почв, в среднегорной зоне – бурые горно-лесные и коричневые горно-лесные почвы, в средне- и низкогорных районах – горно-черноземы, горно-серо-коричневые почвы, а в предгорьях и равнинах распространены различные подтипы и видовое разнообразие серо-коричневых, серо-бурых, сероземов, сероземно-луговых, пойменных аллювиально-луговых почв (Юсифова & Ализаде, 2025а).

Исследуемая территория подходит для развития зерноводства, виноградарства, картофеле-

водства, табаководства, плодоводства, частично шелководства и животноводства. Низменный и среднегорный климат позволяет выращивать здесь сельскохозяйственные культуры в богарных условиях.

Оценка потенциала производства биоэнергии из растительных остатков сельскохозяйственных культур в Восточно-Зангезурском экономическом районе

Использование биоэнергии в сельском хозяйстве в основном основано на растениеводстве и животноводстве, что способствует внедрению интегрированной модели производства биоэнергии, охватывающей выращивание сельскохозяйственных культур, животноводство и производство биоэнергии. Однако точный вклад таких интегрированных систем в смягчение различных экологических проблем, связанных с растениеводством и животноводством, остается неясным.

Тревожный рост глобальной зависимости от ископаемого топлива, такого как уголь, нефть и природный газ, привел к истощению этих ресурсов. Быстрая индустриализация и рост населения существенно увеличили спрос на энергию. Доступ к чистой и экологически устойчивой энергии имеет решающее значение для устойчивого развития человеческого общества и для удовлетворения этого постоянно растущего спроса (Юсифова & Ализаде, 2025б). Биомасса представляет собой многообещающий альтернативный источник для производства чистой энергии. Среди наиболее жизнеспособных вариантов возобновляемой энергии для создания более устойчивой энергетической системы – использование растительных отходов.

Восточно-Зангезурский экономический регион – это крупный сельскохозяйственный регион, занимающий важное место в экономике Азербайджана. Благоприятные почвенно-климатические условия создали широкие возможности для развития сельского хозяйства в регионе. Следует отметить, что до оккупации в этом регионе были широко развиты различные отрасли сельского хозяйства – зерновое, виноградарство, табаководство, кормовое земледелие, картофелеводство, овощеводство, хлопководство и животноводство (Велиев, 2020).

Для расчета потенциала производства биоэнергии из растительных остатков в Восточно-Зангезурском экономическом районе в пер-

вую очередь был рассмотрен уровень развития сельского хозяйства и его основные тенденции в регионе. На основе данных Государственного статистического комитета был проведен анализ состояния использования земельных ресурсов территории под сельскохозяйственные культуры (<https://stat.gov.az/source/agriculture/>).

Животноводство в исследуемой области более развито, чем сельское хозяйство: пастбища и загоны занимают 209,8 тыс. га, а пахотные земли – в 3,5 раза меньше, 59,3 тыс. га. Наибольшая площадь обрабатываемых земель приходится на Джабраильский (20,5 тыс. га) и Губадлинский (15,0 тыс. га) районы. Площадь земель под многолетними культурами очень мала, всего 11 тыс. га. Наибольшее количество многолетних культур (7,2 тыс. га) и пахотных земель (20,5 тыс. га) находится на территории Джабраильского района (Мамедов и др., 2025).

Специалисты Аграрного исследовательского центра при Министерстве сельского хозяйства Азербайджанской Республики составили таблицы, отражающая прогнозируемые пахотные земли на период после освобождения территории в Восточно-Зангезурском экономическом районе. Согласно этим данным, наибольшая площадь планируется к засеванию на объекте исследования под зерновые культуры (21 800 га), 6 500 га – под фрукты и ягоды, а 1 400 га – под картофель, овощи и дыни. (<https://agrodata.az/>).

В настоящее время в исследуемом экономическом районе зерновые, особенно пшеница, занимают основное место в структуре посевов в 2024 году и доминируют как по площади посевов, так и по общему объему производства. Одновременно наблюдается высокая урожайность картофеля и овощных культур, что свидетельствует об эффективности орошения и агротехнических мероприятий. Хотя урожайность сахарной свеклы относительно высока, площадь посевов остается ограниченной. Площади под плодовые и виноградарские культуры имеют потенциал для расширения, но показатели урожайности пока находятся на среднем уровне. В целом, повышение урожайности является главным приоритетом для увеличения производства сельскохозяйственной продукции в регионе (таблица 2).

В Азербайджане выращивают 14 видов растений, пригодных для производства современного твердого биотоплива или биоэнергии (таблица 3).

Таблица 2

Основные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в Восточно-Зангезурском экономическом районе (Сельское хозяйство Азербайджана, 2024)

Культуры	Годовой объем производства, тонн/год	Площадь обрабатываемых земель, га	Производительность, тонн/га
Пшеница (озимая и яровая)	31 000,5	29 286,8	1,06
Злаки и зернобобовые (всего)	39 507,2	32 774,4	1,21
Картофель	622,5	39,2	15,9
Овощи	1 214,5	92,5	15,7
Бахчевые	19,9	6,1	3,3
Фрукты и ягоды	1 326,5	294,0	4,5
Виноград	237,6	35,7	5,9
Сахарная свекла	1 424,9	159,9	16,5
Подсолнечник (в качестве зерна)	33,0	30,0	1,1

Таблица 3

Виды культур и растительных остатков, пригодных для производства биоэнергии в Азербайджане

Сельскохозяйственные культуры	Вид остатка	Сельскохозяйственные культуры	Вид остатка
Пшеница	солома	Хлопок	Стебель
	шелуха		нить
Ячмень	солома	Табак	Стебель
	шелуха		шелуха
Кукуруза	стебель	Чай	листья
	початок	Сахарная свекла	Стебель
	шелуха	Рожь	солома
Подсолнечник	Стебель	Просо	солома
	шелуха		шелуха
Жмых	шелуха	Сорго	шелуха
Рис	солома	Овес	солома
	шелуха		шелуха

Оценка образования растительных остатков и их пригодности для производства биоэнергии проводилась с использованием методологического подхода BEFS Rapid Appraisal. На основе национальных статистических данных были определены общий объем основных растительных остатков, их текущее использование и доля, которая потенциально может быть выделена для целей биоэнергетики.

На основе результатов расчетов было установлено, что, согласно официальной статистике, в 2024 году по всей стране было собрано приблизительно 2 297 731 тонн пшеничной соломы, 1 158 269 тонн ячменной соломы, 704 593 тонны стеблей хлопка и 440 745 тонн стеблей кукурузы-

зы. Было отмечено, что приблизительно 25 процентов соломы, собранной с пшеницы и ячменя (574 432,96 тонны и 289 567,24 тонны соответственно), оставалось на полях для поддержания плодородия почвы и повышения урожайности, а остальная часть в основном использовалась в качестве корма для животных и подстилки в стойлах. Аналогичный подход был применен к стеблям хлопка и кукурузы, и было принято, что в среднем 25 процентов этих остатков оставались на полях. На основе полученных статистических данных была составлена таблица распределения доступных растительных остатков для производства биоэнергии в Восточно-Зангезурском экономическом районе (таблица 4).

Таблица 4

Распределение доступных растительных остатков для производства биоэнергии в Восточно-Зангезурском экономическом районе

Сырье	Площадь посевов, га	Общее количество растительных остатков, тонн/год	Остаток растительных остатков на поле		Остаточный урожай, т/га
			%	тонн/год	
Пшеница	29 286,8	38 751	25%	9 688	1,32
Зерновые и бобовые	32 774,4	49 384	25%	12 346	1,51
Картофель	39,2	311	25%	77,75	7,93
Овощи	92,5	607	25%	151,75	6,56
Бахчевые	6,1	19,9	25%	4,975	3,26
Фрукты и ягоды	294	663,25	25%	165,8	2,26
Виноград	35,7	237,6	25%	59,4	6,66
Сахарная свекла	159,9	1 424,9	25%	356,2	8,91
Подсолнечник	30	33	25%	8,25	1,10

Расчет потенциала производства биоэнергии из растительных остатков

Расчет потенциала производства биоэнергии производился следующим образом:

$$\text{Потенциал производства биоэнергии} = \text{Количество доступных для производства биоэнергии остатков} \times \text{Коэффициент преобразования остатков в электрическую энергию} \times \text{Коэффициент полезной работы}_{\text{остатки} - \text{электрическая энергия}} \quad (2)$$

Принятые показатели:
 Энергетическая емкость = 16 МДж/кг
 Коэффициент полезной работы (пессимистический сценарий) = 25 % = 0,25
 Преобразование энергии:
 1 МДж = 0,2778 кВт·ч

Результаты расчета потенциала производства биоэнергии из растительных остатков в Восточно-Зангезурском экономическом районе представлены в таблице 5.

Таблица 5

Потенциал производства биоэнергии из растительных остатков в Восточно-Зангезурском экономическом районе

Тип растения	Количество растительных остатков, тонн/год	Ресурсный потенциал		Потенциал производства биоэнергии	
		МДж/год	МВт·ч/год	МДж/год	МВт·ч/год
Пшеница	38 751	620 016 000	172 232. 445	155 004 000	43 058. 111
Зерновые и бобовые	49 384	790 144 000	219 485. 043	197 536 000	54 871. 261
Картофель	311	4 976 000	1 382. 893	1 244 000	345. 723
Овощи	607	9 712 000	2 698. 354	2 428 000	674. 588
Бахчевые	19,9	318 400	88. 464	79 600	22. 116
Фрукты и ягоды	663,25	10 612 000	2 948. 014	2 653 000	737. 003
Виноград	237,6	3 801 600	1 056. 312	950 400	264. 078
Сахарная свекла	1 424,9	22 798 400	6 333. 770	5 699 600	1 583. 443
Подсолнечник	33	528 000	146. 678	132 000	36. 669
Итого	91431.65	1462906400	406371.973	360027	101592.992

Следует отметить, что расчеты проводились на основе одного и того же методологического подхода. Во всех случаях нижняя теплотворная

способность принималась равной 16 МДж/кг, а коэффициент полезной работы – 25%. Полученные результаты отражают теоретический потен-

циал производства биоэнергии и носят предварительный оценочный характер.

Роль биоэнергии в сокращении парниковых газов

Получение биоэнергии из сельскохозяйственных отходов является одной из стратегий устойчивого управления отходами благодаря многочисленным преимуществам. Производство биоэнергии, которое обещает снизить зависимость от ископаемого топлива и сократить выбросы парниковых газов, конкурирует с пахотными землями и ресурсами, имеющими решающее значение для производства продуктов питания (Садигов и др., 2025).

Учитывая все это, мы провели нижеследующие расчеты, чтобы определить, насколько сокращаются выбросы парниковых газов при использовании биоэнергии, полученной из отходов растениеводства в Восточно-Зангезурском экономическом районе:

Предполагается, что из 1 тонны сырья в результате использования растительных остатков в процессе анаэробного сбраживания получается 200 м³ биогаза. Годовой объем растительных остатков, доступных для целей биоэнергетики в Восточно-Зангезурском экономическом районе, составляет 91 431,65 тонн. На этой основе годовой объем биогаза рассчитывается следующим образом:

$$O_{\text{бр}} = 91\,431.65 \times 200 = 18\,286\,330 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3)$$

С учетом содержания метана в биогазе и потенциала глобального потепления парниковых газов, снижение выбросов определялось следующим коэффициентом пересчета:

$$1 \text{ м}^3 \text{ биогаз} \Rightarrow 0.0168 \text{ т CO}_2\text{-экв}$$

В этом случае снижение выбросов в результате использования растительных остатков в энергетических целях:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{-экв} &= 18\,286\,330 \times 0.0168 = \\ &= 307\,210 \text{ т CO}_2\text{-экв/год} \end{aligned} \quad (4)$$

Было определено, что на основе существующей базы данных по отходам сельскохозяйственных культур в Восточно-Зангезурском экономическом районе возможно производство приблизительно 18,29 млн м³ биогаза, что может привести к сокращению выбросов углекислого газа на 307 210 тонн CO₂-экв/год.

Выводы

Было установлено, что в Восточно-Зангезурском экономическом районе ежегодно образуется 91431,65 тонн растительных отходов, из которых 54,01% приходится на зерновые и бобовые культуры (49384 тонны/год), 42,3% (38751 тонна/год) и 1,56% (1424,9 тонны/год) – на сахарную свеклу.

Согласно расчетам, из растительных отходов, образующихся в данном экономическом районе, можно производить 101 592,992 МВт·ч биоэнергии в год, из которых 43 058,111 МВт·ч/год биоэнергии может быть получено из остатков пшеницы, 54 871,261 МВт·ч/год из остатков зерновых и бобовых культур, 1 583,443 МВт·ч/год из остатков сахарной свеклы, а оставшиеся 2 080,117 МВт·ч/год биоэнергии могут быть получены из отходов других растений (картофеля, овощей, фруктов, подсолнечника и т. д.).

Согласно расчетам, проведенным для определения роли биоэнергетического потенциала исследуемого региона в сокращении выбросов углекислого газа, годовой потенциал биогаза в Восточно-Зангезурском экономическом районе составляет 18 286 330 м³, что может привести к сокращению выбросов углекислого газа на 307 210 тонн CO₂-экв/год.

Для смягчения экологических угроз и обеспечения энергетической безопасности производство биоэнергии на основе сельскохозяйственных отходов в Восточно-Зангезурском экономическом районе, может открыть новые перспективы в устойчивом энергетическом производстве с точки зрения возобновляемости, экологичности, экономической эффективности и социальной приемлемости. В качестве альтернативного источника энергии это также может помочь снизить количество парниковых газов, выделяемых при сжигании ископаемого топлива, следовательно, это может способствовать достижению седьмой и тринадцатой Целей устойчивого развития (ЦУР), которая заключается в обеспечении доступа к надежной, современной и устойчивой энергии для всех и борьбе с изменениями климата.

Финансирование

Данное исследование проводилось без целевого финансирования и в рамках собственной научной инициативы авторов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в отношении данной исследовательской работы. Опубликованные результаты полностью отражают научную позицию авторов и выполнены без влияния третьих лиц.

Вклад авторов

Махлуга Юсифова: разработка концепции, научное руководство, рецензирование и редактирование текста;

Шамс Ализаде: исследование, обработка данных, анализ, написание текста.

Литература

- Абдурахманов, Ф.Т. (2023). Анализ климатических показателей Восточно-Зангезурского региона и оценка роли агроклиматических ресурсов в развитии сельскохозяйственных угодий. *Научные труды Нахчыванского университета*, 4, 229-236 [на Азерб.]
- Велиев, А.Г. (2020). Оценка потенциала сельскохозяйственных почв на оккупированных территориях. *Сельскохозяйственная экономика*, 3 (33), 60-70. [на Азерб.]
- Гулиев, Е.А. (2023). *Роль Карабахского и Восточно-Зангезурского экономических регионов в устойчивом развитии Азербайджана*. Монография. Баку: Кооперативное издательство. [на Азерб.]
- Отчет о расчете биоэнергетического потенциала в зеленых энергетических зонах*. (2024). Центр сельскохозяйственных исследований, Баку. [на Азерб.]
- Отчет об оценке биоэнергетического потенциала Азербайджана*. (2024). Центр сельскохозяйственных исследований. Баку. [на Азерб.]
- Сельское хозяйство Азербайджана*. (2024). Статистический вестник. АРДСК, Баку. https://www.stat.gov.az/menu/6/statistical_yearbooks/source/agriculture_2024.zip [на Азерб.]
- Awogbemi, O., Von Kallon, D.V., Ray, R.C. (2024). *Conversion of Agriculture Residues for Bioenergy Production*. In: Arora, J., Joshi, A., Ray, R.C. (eds) *Transforming Agriculture Residues for Sustainable Development. Waste as a Resource*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61133-9_12
- BEFS Rapid appraisal (BEFS RA)*. (2014). User Manual. FAO.
- De Wit, M. & Faaij, A. (2010). European biomass resource potential and costs. *Biomass and Bioenergy*, 34(2), 188- 202. doi:10.1016/j.biombioe.2009.07.011.
- Dey, D., Kundu, K., Singh, D. (2024). *Bioenergy Production from Vegetable and Fruit Waste*. In: Arya, R.K., Verros, G.D., Verma, O.P., Hussain, C.M. (eds) *From Waste to Wealth*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7552-5_11
- Groff, M.C., Flores, L.F., Vaidya, K. & Priyanka, P.P. (2025). *Agricultural Renewable Residues for a Sustainable Agro-Industrial Production*. In: Shaaban, M. (eds) *Soils and Sustainable Agriculture*. Frontier Studies in Soil Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-91114-9_34 pp.809-836
- Ibadullayeva, S., Gurbanov, E., Abdiyeva, R., Abiyev, Y. (2023). Geobotanical zoning of Karabakh and East Zangezur. *Journal of Life Sciences & Biomedicine*, 5(78), 49-53. <https://doi.org/10.59849/2710-4915.2023.2.49>
- IRENA. (2022). *REmap 2030 Full Report*. <https://www.irena.org/publications/2014/Jun/REmap-2030-Full-Report>.
- Järvinen, M., Paulomäki, H., Kasteren, H., Oksanen, E., Herzon, I., Forsius, M., Aki-Järvi, A., Holmberg, M., Juntila, V., Pekkonen, M., Schulz, T., Kujala, H. & Arasto, A. (2025). *Bioenergy and Waste*. In: Järvinen, M., Paulomäki, H. (eds) *Designing Renewable Energy Systems within Planetary Boundaries*. Green Energy and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69856-9_6
- Mammadov, G.Sh., Mammadova, S.Z., Yusifova, M.M., Osmanova, S.A., Mammadov Z.R., Aghayeva S.A., Gasimov, A.M. & Alizade, Sh.N. (2025). Assessment of Modern Natural-Ecological, Land and Agricultural Resources of the East Zangezur Economic Region of the Republic of Azerbaijan. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 14(5), 787-797. <https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2025.171>
- Murmu, K., Murmu, S., Sarkar, A. & Moulick, D. (2025). *Perennial Forage Cropping System and Bioenergy Production*. In: Singhal, R.K., Indu, El Sabagh, A., Dwivedi, K.K. (eds) *Forage Crops in the Bioenergy Revolution*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2536-9_4
- Pawaiya, A., Chaudhary, M., Suthar, S. (2025). *The Potential Utility of Terrestrial Weed Biomass in Bioenergy Production*. In: Mandpe, A., Paliya, S., Shah, M.P. (eds) *Sustainable Waste Management*. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85685-3_14 pp 211–221
- Raina, N., Chuetor, S., Elalami, D., Saida Tayibi, S. & Barakat, B. (2024). Biomass Valorization for Bioenergy Production: Current Techniques, Challenges, and Pathways to Solutions for Sustainable Bioeconomy. *Bioenergy Research*, 17, 1999–2028. <https://doi.org/10.1007/s12155-024-10792-x>
- Sadigov, R.A. & Macnunlu, U.Kh. (2023). Acquisition of value-added products from plant-based wastes. *UNEC Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1), 69–79. <https://doi.org/10.61640/ujeas.2023.0509>.
- Sadigov, R.A., Nazarova, M.K., Garayeva, I.E., Mammadova, G.I., Hasanova, T.A. & Muhammad M. (2025). Modern research of using alternative energy resources in Azerbaijan. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 14(3), 907-915. <http://doi.org/10.11591/ijaas.v14.i3.pp907-915>.

Sahu, M., Ikram, M., Pal, P. & Sharma, A. (2025). Bioenergy Production from Teak Residues: Assessing the Role in Controlling Insect Pest Infestations. *BioEnergy Research*, 18, 53. <https://doi.org/10.1007/s12155-025-10849-5>

Sarkar, J.D., Sarkar, A.K. & Mondal, P. (2023). *Sustainable Manipulation of Agricultural Residues in Bioenergy Production*. In: Rakshit, A., Biswas, A., Sarkar, D., Meena, V.S., Datta, R. (eds) *Handbook of Energy Management in Agriculture*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7736-7_36-1

Shahzad, H.M.A., Asim, Z., Khan, S.J. Zukhruf Asim, Sher Jamal Khan, Fares Almomani, Khaled A. Mahmoud, Muhammad Raza Ul Mustafa & Kashif Rasool (2024). Thermochemical and biochemical conversion of agricultural waste for bioenergy production: an updated review. *Discover Environment*, 2, 134. <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00171-w>

Ullah, Z., Iqbal, J., Abbasi, B.A., Ali, I., Ijaz Sh., Yaseen, T., Munir, M., Ashraf, Z., Ul Haq, B. & Mahmood, T. (2025). *Global Food Security and Bioenergy Production*. In: Singhal, R.K., Indu, El Sabagh, A., Dwivedi, K.K. (eds) *Forage Crops in the Bioenergy Revolution*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2536-9_2

Wijayanti, H., Putra, M.D., Mardina, P., Juwita, R., Madani, Z.D.A., Hendrawan, R.D., Sari, A.D.J. & Ramadina, A.A. (2025). Sustainable valorization of *Stenochlaena palustris* residues to bioenergy and green chemicals via pyrolysis: thermal decomposition, kinetic analysis, and product distributions. *Environmental Science and Pollution Research*, 32, 23097–23113. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-37016-9>

Yusifova, M. & Alizade Sh. (2025). Prospects for the use of soil resources in the East Zangezur economic region of Azerbaijan in Agriculture. *11th Eurasian Soil Congress "Innovations in Soil Science and Plant Nutrition under Climate Change"*, September 1-4, Samsun, Turkiye, 71-80. https://www.fesss.org/upload_pic/1b91ebcc923c737dbec602769587fee7.pdf

Yusifova, M.M. & Alizade, Sh.N. (2025). Assessment of solar energy potential in Zangilan, Kalbajar and Qubadli districts of Azerbaijan on the spring equinox. *Eurasian Journal of Ecology*, 82 (1), 45-54. <https://doi.org/10.26577/EJE202582104>

Zimmer, T., Glöser-Chahoud, S. & Schultmann, F. (2025). *Techno-Economic Analysis of Mobile Production Plants for Bioenergy Carriers*. In: Braun, A.C., Espinosa Gutiérrez, G., Tröger, D., Hirth, T. (eds) *Eco-Industrial Development as an Industrial Strategy*. Green Energy and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-73576-9_14

<https://content.govdelivery.com/accounts/USERE/bulletins/345078e>

<https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/2021-country-reports/>

<https://www.area.gov.az/az/page/yasil-teknologiyalar/biokutle>

<https://agrodataby.az/>

<https://stat.gov.az/source/agriculture/>

<https://www.europeanbiogas.eu/news/turning-farm-waste-into-renewable-energy-the-alfa-story/>

<https://www.etipbioenergy.eu/advanced-bioenergy/>

[https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_\(SWERA\)](https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA))

<https://greenfinancelac.org/resources/news/bndes-renovabio-finances-energy-and-environmental-efficiency-improvements-at-biofuel-plants-in-brazil>

Сведения об авторах:

Юсифова Махлуга Маил кызы – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой географической экологии Бакинского государственного университета (Баку, Азербайджан, e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru).

Ализаде Шамс Низами кызы – докторант кафедры географической экологии Бакинского государственного университета (Баку, Азербайджан, e-mail: alizade.shams@mail.ru).

Information about authors:

Yusifova Mahluga Mail gizi – PhD of Biological Sciences, Ass. Prof., Head of the Department of Geographical Ecology, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru).

Alizade Shams Nizami gizi – PhD student of the Department of Geographical Ecology, Baku State University (Baku, Azerbaijan, e-mail: alizade.shams@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Юсифова Махлуга Маил кызы – биология ғылымдарының докторы, доцент, Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының меңгерушісі (Баку, Әзірбайжан, e-mail: mehluqe_yusifli@mail.ru).

Ализаде Шамс Низами кызы – Баку мемлекеттік университетінің географиялық экология кафедрасының аспиранты (Баку, Әзірбайжан, e-mail: alizade.shams@mail.ru).

Поступила 12 января 2026 года

Принята 25 марта 2026 года