

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

Научная статья  
УДК 004.9:620.95  
ББК 32.972  
Р 31  
DOI: 10.53598/2410-3225-2024-3-346-34-42

### Реализация программного модуля оценки потенциала биоэнергетических ресурсов (Рецензирована)

Павел Юрьевич Бучацкий<sup>1</sup>, Стефан Владимирович Онищенко<sup>2</sup>,  
Семен Васильевич Теплоухов<sup>3</sup>, Тимофей Юрьевич Бычков<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия

<sup>1</sup> buch@adygnet.ru

<sup>2</sup> osv@adygnet.ru

<sup>3</sup> tepl\_sv@adygnet.ru

<sup>4</sup> bychkov.timof@gmail.com

**Аннотация.** Рассмотрен потенциал биоэнергетики в сельском хозяйстве. Для анализа выбраны такие источники энергии, как отходы животноводческих хозяйств и сельскохозяйственных угодий, являющиеся естественными побочными продуктами данных видов деятельности. Реализован программно-технический модуль, который позволяет определить валовый и технический потенциал рассматриваемых видов биоэнергетических ресурсов. В качестве исходной информации используются данные о количестве поголовья скота в рассматриваемом регионе и площади имеющихся сельскохозяйственных угодий, значения которых могут быть получены посредством интеграции с геоинформационными системами. Для получения итоговых значений энергии используются коэффициенты выхода энергии для рассматриваемого вида ресурса и эффективность предполагаемого к использованию преобразователя энергии.

**Ключевые слова:** биоресурсы, сельское хозяйство, энергетический потенциал, зеленая энергетика

**Для цитирования:** Реализация программного модуля оценки потенциала биоэнергетических ресурсов / П. Ю. Бучацкий, С. В. Онищенко, С. В. Теплоухов, Т. Ю. Бычков // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. : Естественно-математические и технические науки. 2024. Вып. 3 (346). С. 34–42. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-3-346-34-42

Original Research Paper

### Implementation of the program module for assessing the potential of bioenergy resources

Pavel Yu. Buchatsky<sup>1</sup>, Stefan V. Onishchenko<sup>2</sup>, Semen V. Teploukhov<sup>3</sup>,  
Timofey Yu. Bychkov<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Adyghe State University, Maykop, Russia

<sup>1</sup> buch@adygnet.ru

<sup>2</sup> osv@adygnet.ru

<sup>3</sup> tepl\_sv@adygnet.ru

<sup>4</sup> bychkov.timof@gmail.com

**Abstract.** The potential of bioenergy in agriculture is considered. Energy sources such as waste from livestock farms and agricultural lands, which are natural by-products of these types of activities, have been selected for analysis. A software and technical module has been implemented that allows us to determine the gross and technical potential of the types of bioenergy resources under consideration. As initial information, data on the number of livestock in the region under consideration and the area of available agricultural land are used, the values of which can be obtained through integration with geographic information systems. To obtain the final energy values, the energy output coefficients for the type of resource under consideration and the efficiency of the energy converter intended to be used.

**Keywords:** bioresources, agriculture, energy potential, green energy

**For citation:** Implementation of the program module for assessing the potential of bioenergy resources / P. Yu. Buchatsky, S. V. Onishchenko, S. V. Teploukhov, T. Yu. Bychkov // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. : Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2024. Iss. 3 (346). P. 34–42. DOI: 10.53598/2410-3225-2024-3-346-34-42

## Введение

Текущее изменение климатических условий, вызванное в основном обширным использованием ископаемого топлива [1], является одной из причин развития политики декарбонизации [2], призванной снизить уровень выбросов в атмосферу. Одним из инструментов реализации подобной энергетической трансформации является использование возобновляемой энергетики [3], к которой относится энергия, получаемая от биоэнергетических ресурсов [4]. Внедрение источников энергии на основе биомассы пока не получило достаточно широкого распространения (рис. 1), а ее процент от общей доли возобновляемых источников энергии не превышает 10–15 % (по данным различных энергетических агентств). Однако экспертные оценки Всемирной ассоциации биоэнергетики [4, 5] предполагают, что в ближайшие десятилетия этот показатель может возрасти до 35–40%.

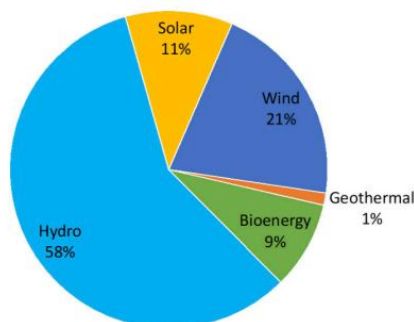


Рис. 1. Производство энергии из возобновляемых источников в 2020 году

Fig. 1. Energy production from renewable sources in 2020

Этот вид энергии отлично подходит для сельскохозяйственных районов, поскольку именно в них он обладает наибольшим потенциалом, позволяя организовать стабильное снабжение потребителей [6] (рис. 2).

Одним из важных аспектов внедрения любого вида возобновляемой энергии является его потенциал, который позволяет оценить эффективность внедрения рассматриваемого вида энергетического ресурса [7]. В связи с этим авторы рассмотрели подход к оценке потенциала биоэнергетических ресурсов, таких как отходы сельского и животноводческого хозяйства на примере двух регионов: Краснодарского края и Республики Адыгея. Для этого был разработан и реализован соответствующий программный модуль с пользовательским интерфейсом, позволяющий выбирать вид рассматриваемого ресурса, вид потенциала (валовый или технический) и возможность изменения типа используемого преобразователя энергии и вида используемого ресурса.



Рис. 2. Потенциал биоэнергии в Российской Федерации по округам  
 Fig. 2. Bioenergy potential in the Russian Federation by districts

### Материалы и методы

Биомасса является одним из возобновляемых источников энергии, который может быть преобразован в энергоноситель и использован для выработки электроэнергии [8]. Несмотря на возможность использования других видов возобновляемых ресурсов, таких как солнечная или ветровая энергии [9, 10], биомасса остается конкурентноспособным источником, благодаря малой зависимости от географического положения и климатических изменений. Особенностью биомассы в период своего роста является возможность поглощения углекислого газа, количество которого равно выделяемому при ее сжигании, в результате чего подобный источник энергии становится углеродно-нейтральным [11]. Однако важно отметить, что подобный вид топлива имеет как преимущества, так и недостатки [12–14] в сравнении с традиционным топливом (см. таблицу 1).

Таблица 1

Преимущества и недостатки использования биомассы и ископаемого топлива в производстве электроэнергии

Table 1. Advantages and disadvantages of using biomass and fossil fuels in power generation

Тип топлива	Преимущества	Недостатки
Биомасса	<p>Различные виды ресурсов: зерновые культуры, бытовые отходы, отходы животноводства и лесные отходы;</p> <p>Может использоваться вместе с углем для производства менее токсичных выбросов за счет определенных соотношений, а также совместно с солнечной энергией для повышения эффективности выработки энергии;</p> <p>Стоимость производства намного дешевле по сравнению с ископаемым топливом, так как производные или остатки биомассы могут быть использованы для производства биотоплива (биотопливо второго поколения).</p>	<p>Основная часть материала содержит большое количество влаги, которая должна быть изначально испарена, что косвенно снижает эффективность;</p> <p>Необходима индивидуальная подготовка материала, такая как уплотнение (гранулирование, брикетирование, агломерация);</p> <p>Ограниченное использование в производстве электроэнергии из-за каскадного принципа (повторное использование, рециркуляция, биоэнергетика и утилизация).</p>

Таблица 1 (Продолжение)

Тип топлива	Преимущества	Недостатки
Ископаемое топливо	Высокая теплотворная способность по сравнению с топливом из биомассы позволяет производить большое количество эффективной энергии при его сжигании; Возможность доступа к энергии без географических ограничений.	Уменьшение объемов ископаемого топлива может косвенно привести к росту цен на энергию;  Чрезмерное использование ископаемого топлива может привести к серьезным экологическим проблемам, таким как изменение климата из-за выбросов $CO_2$ .

Для оценки потенциала биоресурса необходимо определить, какой именно из ресурсов мы будем рассматривать. В целом доступны различные категории источников биомассы, но основными источниками, которые приносят пользу энергетическим отраслям, являются [15]: сельскохозяйственные культуры, сельскохозяйственные отходы (пожнивные остатки), лесные отходы, отходы животноводства и твердые бытовые отходы.

В качестве основных видов рассмотрим отходы животноводства и пожнивные остатки различных культур, получаемые в результате уборки урожая с полей. Первым этапом оценки потенциала является получение информации о количестве имеющегося поголовья животных на территории рассматриваемых регионов и площади используемых сельскохозяйственных угодий. Данные о поголовье скота могут быть получены из различных открытых источников, отчетов министерств и другой региональной статистики, поиск которых может быть облегчен за счет применения интеллектуальных методов поиска информации и специализированных программных средств [16]. Данные посевных площадей для исследуемых регионов можно получить посредством взаимодействия с геоинформационными системами, при этом определяются не только доступные сельскохозяйственные площади, но и площади лесных территорий, водные объекты и населенные пункты. Это позволяет расширить возможности реализуемого программного продукта. Функциональная схема работы модуля с интеграцией ГИС представлена на рисунке 3.

Для определения потенциальной энергии биомассы используются следующие выражения: (1) – для определения энергии биомассы на основе использования отходов животноводства и (2) – для определения энергии биомассы на основе использования пожнивных остатков. [17]

$$E_{\text{скот}} = \sum_{i=0}^n m_i \times kal_i \times sux_i \times bio_i \times metan_i \times T_{\text{metan}} \times kol_i, \quad (1)$$

где  $m$  – масса;

$kal$  – коэффициент новообразования;

$sux$  – содержание сухого вещества в каловых массах;

$bio$  – биогаз с 1 кг сухого вещества;

$metan$  – содержание метана;

$T$  – теплота сгорания метана (35,8 МДж);

$kol$  – количество голов скота.

$$E_{\text{отходы}} = \sum_{i=0}^n sux_i \times bio_i \times metan_i \times T_{\text{metan}} \times kol_i. \quad (2)$$

Тогда общий объем энергии может быть определен как сумма энергетического

потенциала каждого из рассматриваемых источников биоэнергетического ресурса (3):

$$E_{\text{общая}} = \sum_{i=0}^n E_i . \quad (3)$$

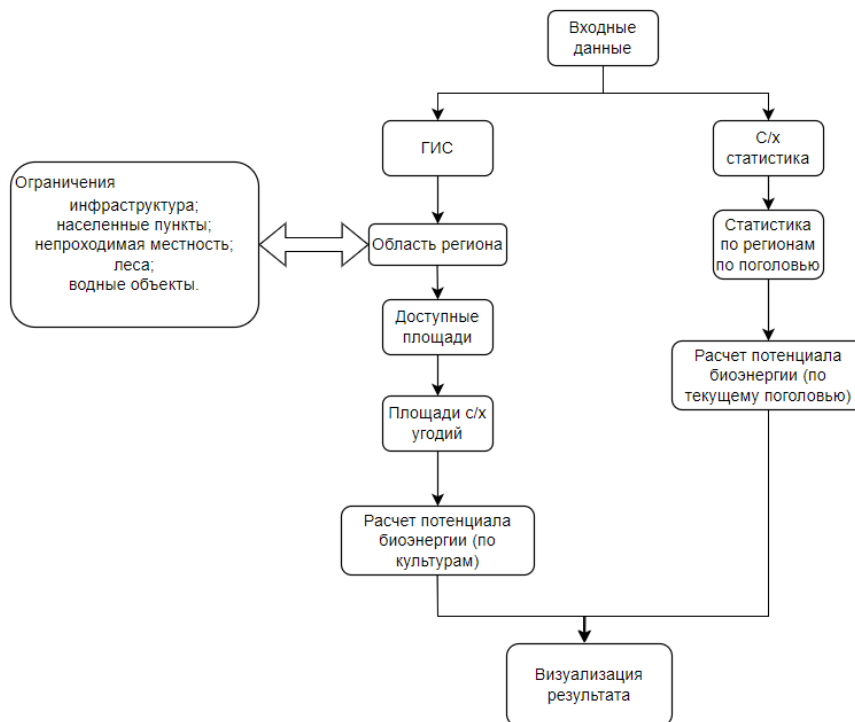


Рис. 3. Функциональная схема модуля оценки потенциала биоэнергетических ресурсов

Fig. 3. Functional scheme of the bioenergy resources potential assessment module

Для расчета значений энергии были реализованы соответствующие пользовательские функции на языке программирования Python, с помощью которых определяются объемы вырабатываемого биогаза в зависимости от рассматриваемого вида энергетического ресурса, входные данные для которых подгружаются посредством использования JSON-файлов. Пример такого файла, содержащего сведения о характеристиках энергетических ресурсов (в данном случае пожнивных остатков пшеницы), представлен ниже:

```
{
  "amount_of_biogas_per_kilogram_of_dung": 0.5, // биогаза из 1 кг
  "dry_matter_content": 0.87, // содержание сухого вещества
  "methane_content": 0.52, // содержание метана
  "calorific_value_of_methane": 35.8 // теплота сгорания метана
}
```

Отображение результатов работы модуля осуществляется через разработанное веб-приложение. При этом использовался соответствующий фреймворк для языка программирования – Flask, с помощью которого было реализовано приложение, внешний вид которого представлен на рисунке 4.

При запуске приложения пользователь получает возможность выбора интересующего его региона, после чего выводятся соответствующие данные, которые показывают актуальную информацию о посевных площадях, поголовье скота, коэффициентах преобразования энергии, количестве метана и пр. При необходимости пользователь может изменить текущие коэффициенты, тем самым добавляя не предусмотренный ра-

нее источник сырья, что продемонстрировано на рисунке 5.

Рис. 4. Вид интерфейса взаимодействия с пользователем, разработанный для модуля оценки потенциала биоэнергетических ресурсов в регионе

Fig. 4. Type of user interaction interface developed for the module of bioenergy resource potential assessment in the region

Рис. 5. Окно с возможностью редактирования значений коэффициентов, используемых при расчете энергетического потенциала

Fig. 5. A window with the possibility to edit values of coefficients, window with possibility to edit values of coefficients used in calculation of energy potential

## Заключение

В результате работы был реализован программный модуль расчета потенциала энергии при использовании биоресурсов, позволяющий определить потенциальные значения энергии для рассматриваемых условий: имеющихся объемов сельскохозяйственных угодий и доступном количестве поголовья скота. Функционал модуля позволяет определять потенциал для таких видов сырья, как пожнивные остатки и побочные



продукты животноводства. На примере двух регионов апробирована работа модуля. В модуле предусмотрена возможность редактирования входных данных, что позволяет использовать модуль как калькулятор энергии, перенося масштаб от уровня региона к уровню локальных пользователей.

Функционал модуля может быть расширен за счет реализации возможности расчета потенциала от таких источников энергии, как бытовые отходы и отходы лесной промышленности, и возможность привлечения дополнительных данных из ГИС средств позволит расширить карту регионов. В качестве еще одной модификации может быть добавлена функция визуального отображения на карте, что позволит более наглядно сравнивать потенциал различных регионов, получив таким образом карту ресурсного распределения.

### Примечания

1. The implications of fossil fuel supply constraints on climate change projections: A supply-side analysis / J. Wang, L. Feng, X. Tang [et al.] // *Futures*. 2017. No. 86. P. 58–72. DOI: 10.1016/j.futures.2016.04.007

2. Использование «зеленой» энергии в энергосистеме региона / П. Ю. Бучацкий, С. В. Онищенко, С. В. Теплоухов, К. А. Кузьмин // ESG-факторы и технологии роста: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 22–24 июня 2023 года. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2023. С. 13–17.

3. Оценка влияния внедрения возобновляемых источников энергии на стоимость электроэнергии в регионе / П. Ю. Бучацкий [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2023. Вып. 4 (331). С. 22–32. DOI: 10.53598/2410-3225-2023-4-331-22-32

4. A review on the characteristic of biomass and classification of bioenergy through direct combustion and gasification as an alternative power supply / K. Sivabalan [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021. Vol. 1831, No. 1. С. 012033. DOI: 10.1088/1742-6596/1831/1/012033

5. Global bioenergy statistics report. 2023.  
URL: <https://www.worldbioenergy.org/uploads/231219%20GBS%20Report.pdf>

6. Sustainability Assessment of Bioenergy from a Global Perspective: a review / J. Wang, Y. Yang, Y. Bentley [et al.] // *Sustainability*. 2018. No. 10. P. 2739. DOI: 10.3390/su10082739

7. Онищенко С. В., Кузьмин К. А., Бычков Т. Ю. Программные средства моделирования возобновляемых источников энергии // *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Майкоп, 15–19 мая 2023 года*. Майкоп : Кучеренко В. О., 2023. Ч. 2. С. 91–99.

8. An overview of agricultural biomass for decentralized rural energy in Ghana / Y. S. Mohammed [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 20. P. 15–25. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.047

9. Обзор моделей оценки и прогнозирования поступления солнечной энергии / В. С. Симанков, П. Ю. Бучацкий, С. В. Онищенко, С. В. Теплоухов // *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Майкоп, 15–19 мая 2023 года*. Майкоп : Кучеренко В. О., 2023. Ч. 2. С. 167–174.

10. Реализация программно-аппаратного комплекса для оценки энергетического потенциала возобновляемых источников энергии / П. Ю. Бучацкий, С. В. Теплоухов, С. В. Онищенко [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. : Естественно-математические и технические науки. 2019. Вып. 4 (251). С. 103–108.  
URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

11. Timmons D. S., Buchholz T., Veeneman C. H. Forest biomass energy: assessing atmospheric carbon impacts by discounting future carbon flows // *GCB Bioenergy*. 2016. Vol. 8, iss. 3. P. 631–643.

12. Improve the efficiency of boiler by reduce the moisture in bagasse / K. Periyasamy, R. Karthikeyan, R. N. Gopinath [et al.] // *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2018. No. 6. P. 1–7.

13. Biomass potential from agricultural waste for energetic utilization in Greece / S. Alatzas, K. Moustakas, D. Malamis [et al.] // *Energies*. 2019. No. 12 (6). 20 p.
14. Progress in biofuel production from gasification / V. S. Sikarwar, M. Zhao, P. S. Fennell [et al.] // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2017. No. 61. P. 189–248.
15. An Overview of Recent Developments in Biomass Pyrolysis Technologies / M. N. Uddin, K. Techato, J. Taweekun [at al.] // *Energies*. 2018. No. 11. 23 p. DOI: 10.3390/en11113115
16. Модуль мониторинга технологических параметров преобразователей возобновляемых источников энергии / П. Ю. Бучацкий, С. В. Теплоухов, С. В. Онищенко, Д. А. Атагян // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2023. Вып. 2 (321). С. 84–90. DOI: 10.53598/2410-3225-2023-2-321-84-90
17. Calculation of the Potential Biogas and Electricity Values of Animal Wastes: Turkey and Poland Case / H. Ertop, A. Atilgan, J. Kocięcka [at al.] // *Energies*. 2023. No. 16. P. 75–78. DOI: 10.3390/en16227578

## Reference

1. The implications of fossil fuel supply constraints on climate change projections: A supply-side analysis / J. Wang, L. Feng, X. Tang [et al.] // *Futures*. 2017. No. 86. P. 58–72. DOI: 10.1016/j.futures.2016.04.007
2. Use of “green” energy in the energy system of the region / P. Yu. Buchatsky, S. V. Onishchenko, S. V. Teploukhov, K. A. Kuzmin // ESG-factors and growth technologies: collection of reports of the International Scientific and Practical Conference, Saint Petersburg, June 22–24, 2023. Saint Petersburg : Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI” named after V. I. Ulyanov (Lenin), 2023. P. 13–17.
3. Assessment of the impact of the introduction of renewable energy sources on the cost of electricity in the region / P. Yu. Buchatskiy [at al.] // *The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. : Natural-Mathematical and Technical Sciences*. 2023. Iss. 4 (331). P. 22–32. DOI: 10.53598/2410-3225-2023-4-331-22-32
4. A review on the characteristic of biomass and classification of bioenergy through direct combustion and gasification as an alternative power supply / K. Sivabalan [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021. Vol. 1831, No. 1. P. 012033. DOI: 10.1088/1742-6596/1831/1/012033
5. Global bioenergy statistics report. 2023.  
URL: <https://www.worldbioenergy.org/uploads/231219%20GBS%20Report.pdf>
6. Sustainability Assessment of Bioenergy from a Global Perspective: a review / J. Wang, Y. Yang, Y. Bentley [et al.] // *Sustainability*. 2018. No. 10. P. 2739. DOI: 10.3390/su10082739
7. Onishchenko S. V., Kuzmin K. A., Bychkov T. Yu. Software tools for modeling of renewable energy sources // *Fundamental and applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies : proceedings of the 7<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference, Maykop, May 15–19, 2023*. Maykop : Kucherenko V. O., 2023. Part 2. P. 91–99.
8. An overview of agricultural biomass for decentralized rural energy in Ghana / Y. S. Mohammed [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 20. P. 15–25. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.047
9. Review of models of estimation and forecasting of solar energy input / V. S. Simankov, P. Yu. Buchatsky, S. V. Onishchenko, S. V. Teploukhov // *Fundamental and applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies : proceedings of the 7<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference, Maykop, May 15–19, 2023*. Maykop : Kucherenko V. O., 2023. Part 2. P. 167–174.
10. Implementation of the power assessment appliance for renewable energy sources / P. Yu. Buchatskiy, S. V. Teploukhov, S. V. Onishchenko [at al.] // *The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. : Natural-Mathematical and Technical Sciences*. 2019. Iss. 4 (251). P. 103–108. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
11. Timmons D. S., Buchholz T., Veeneman C. H. Forest biomass energy: assessing atmospheric carbon impacts by discounting future carbon flows // *GCB Bioenergy*. 2016. Vol. 8. Iss. 3. P. 631–643.
12. Improve the efficiency of boiler by reduce the moisture in bagasse / K. Periyasamy, R. Karthikeyan, R. N. Gopinath [et al.] // *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2018. No. 6. P. 1–7.
13. Biomass potential from agricultural waste for energetic utilization in Greece / S. Alatzas, K. Moustakas, D. Malamis [et al.] // *Energies*. 2019. No. 12 (6). 20 p.
14. Progress in biofuel production from gasification / V. S. Sikarwar, M. Zhao, P. S. Fennell



[et al.] // Progress in Energy and Combustion Science. 2017. No. 61. P. 189–248.

15. An Overview of Recent Developments in Biomass Pyrolysis Technologies / M. N. Uddin, K. Techato, J. Taweekun [et al.] // Energies. 2018. No. 11. 23 p. DOI: 10.3390/en11113115

16. Module for monitoring technological parameters of renewable energy converters / P. Yu. Buchatskiy, S. V. Teploukhov, S. V. Onishchenko, D. A. Atagyan // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser. : Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2023. Iss. 2 (321). P. 84–90. DOI: 10.53598/2410-3225-2023-2-321-84-90

17. Calculation of the Potential Biogas and Electricity Values of Animal Wastes: Turkey and Poland Case / H. Ertop, A. Atilgan, J. Kocięcka [et al.] // Energies. 2023. No. 16. P. 75–78. DOI: 10.3390/en16227578

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Статья поступила в редакцию 11.09.2024; одобрена после рецензирования 16.09.2024; принята к публикации 17.09.2024.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*The article was submitted 11.09.2024; approved after reviewing 16.09.2024; accepted for publication 17.09.2024.*

© П. Ю. Бучацкий, С. В. Онищенко, С. В. Теплоухов, Т. Ю. Бычков, 2024