













Thus, 700 million of cells is 9.1 grams of dry biomass. The average caloric value of 1 gram of dry biomass of microalgae *Chlorella*, *Spirulina*, *Synechococcus* and *Platymonas* is 5 kcal (21 kJ) [7], then the amount of energy will be:

$$9.1 \cdot 21 = 191.1 \frac{\text{kJ}}{\text{l} \cdot \text{day}} = 191100 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \cdot \text{day}} = 53083 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \cdot \text{day}}$$

Taking into account all losses during processing of biomass into biogas, it can be assumed that 1 g of dry biomass corresponds to 0.68 liter of methane [31, 32]. Thus, the amount of biogas will be equal to:

$$9.1 \cdot 0.68 = 6.188 \frac{\text{l of methane}}{\text{l of medium} \cdot \text{day}}$$

#### 4. Conclusions

1. As the illumination increases, the growth rate of microalgae increases. On day 8, the number of algae under illumination of 3500 lx was 7.02 million of cells/ml, with illumination of 1750 lx – 5 million of cells/ml, with illumination of 930 lx – 4.11 million of cells/ml. The productivity of microalgae at an illumination of 3500 lx is 700 million of cells/(l·day), at an illumination of 1750 lx is 411 million of cells/(l·day), at an illumination of 930 lx is 283 million of cells/(l·day).

2. As the temperature increases, the biomass increases. The maximum concentration of biomass was at a temperature of 25 °C and amounted to 4.1 million of cells/ml. on day 11 of cultivation. At a temperature of 2 °C and 10 °C, an almost stable state of algae is observed, the concentration increases very slowly, however the culture does not die. The productivity of microalgae at a temperature of 25 °C was 397 million of cells/(l·day), at a temperature of 19 °C – 334 million of cells/(l·day), at a temperature of 10 °C – 67 million of cells/(l·day), at a temperature of 2 °C – 37 million of cells/(l·day).

3. The amount of energy that can be obtained from the microalgae biomass under the growing conditions of 3500 lx and 23 °C is 53083 (kWh)/(m<sup>3</sup>·day). The biogas amount that can be obtained from the same amount of biomass is 6.188 l of methane/(l of medium·day).

#### References

- Lundquist, T.J., Woertz, I.C., Quinn, N.W.T., Benemann, J.R. A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel. Energy Biosciences Institute University of California. 2010. Pp. 37–125.
- Dvoretzkiy, D.S., Dvoretzkiy, S.I., Temnov, M.S., Peshkova, Ye.V., Akulinin, Ye.I. Tekhnologiya polucheniya lipidov iz mikrovdorosley [Technology of obtaining lipids from microalgae]. Tambov.: Izd-vo FGBOU VPO TGTU. 2015. 99 p. (rus)
- Dvoretzkiy, D.S. Optimization of the Process of Cultivation of Microalgae *Chlorella Vulgaris* Biomass with High Lipid Content for Biofuel Production. Chemical Engineering Transactions. 2015. No. 43. Pp. 361–366.
- Li, Y., Horsman, M., Lan, C.Q., Dubois-Calero, N. Biofuels from microalgae. Biotechnol Prog. 2008. No. 24. Pp. 815–820.
- Temnov, M.S., Santalov, R.D., Androsova, A.A. Razrabotka tekhnologii kultivirovaniya biomassy mikrovdorosley *chlorella vulgaris* s povyshennym soderzhaniyem lipidov [Development of technology for cultivation of biomass of microalgae *chlorella vulgaris* with an increased lipid content]. Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. 2015. Vol. 29. No. 8. Pp. 116–117. (rus)
- Kotelev, M.S., Novikov, A.A., Afonin, D.S., Vinokurov, V.A. Polucheniye vysokoenegonasyshchennoy biomassy mikrovdorosley *Botryococcus braunii* i *Chlorella* v fotobioreaktore [Production of high-energy-saturated biomass of microalgae *Botryococcus braunii* and *Chlorella* in a photobioreactor]. Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. 2012. No. 1(569). (rus)
- Zarei Darki, B., Korol, O.N., Gevorgiz, R.G. Produktivnost sistemy kultivirovaniya mikrovdorosley pri yestestvennom osveshchenii [Productivity of the

#### Литература

- Lundquist T.J., Woertz I.C., Quinn N.W.T., Benemann J.R. A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel // Energy Biosciences Institute University of California. 2010. Pp. 37–125.
- Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Темнов М.С., Пешкова Е.В., Акулинин Е.И. Технология получения липидов из микроводорослей. Тамбов.: Изд-во ФГБОУ ВПО ТГТУ. 2015. 99 с.
- Dvoretzkiy D.S. Optimization of the Process of Cultivation of Microalgae *Chlorella Vulgaris* Biomass with High Lipid Content for Biofuel Production // Chemical Engineering Transactions. 2015. № 43. Pp. 361–366.
- Li Y., Horsman M., Lan C.Q., Dubois-Calero N. Biofuels from microalgae // Biotechnol Prog. 2008. № 24. Pp. 815–820.
- Темнов М.С., Санталов Р.Д., Андросова А.А. Разработка технологии культивирования биомассы микроводорослей *chlorella vulgaris* с повышенным содержанием липидов // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. 29. № 8. С. 116–117.
- Котелев М.С., Новиков А.А., Афонин Д.С., Винокуров В.А. Получение высокоэнергонасыщенной биомассы микроводорослей *Botryococcus braunii* и *Chlorella* в фотобиореакторе // Химия и технология топлив и масел. 2012. № 1(569).
- Зarei Дарки Б., Король О.Н., Геворгиз Р.Г. Производительность системы культивирования микроводорослей при естественном освещении // Biotechnologia Acta. 2014. № 3. С. 109–114.
- Gouveia L. Microalgae as a Feedstock for Biofuels // Springer. 2011. Pp. 68–100.
- Wilkie Ann C., Smith P.H., Bordeaux F.M. An economical bioreactor for evaluating biogas potential of particulate

Залата Е.С., Шавров Ю.Ю., Стрелец К.И., Емельянова М.С. Продуктивность микроводорослей, как биотоплива для биоадаптивных систем фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 5(81). С. 43–51.

- microalgae cultivation system under natural light]. *Biotechnologia Acta*. 2014. No. 3. Pp. 109–114. (rus)
8. Gouveia, L. *Microalgae as a Feedstock for Biofuels*. Springer. 2011. Pp. 68–100.
  9. Wilkie Ann, C., Smith, P.H., Bordeaux, F.M. An economical bioreactor for evaluating biogas potential of particulate biomass. *Bioresource Technology*. 2004. No. 92. Pp. 103–109.
  10. Petrichenko, M.R., Nemova, D.V., Kotov, E.V., Tarasova, D.S., Sergeev, V.V. Ventilated facade integrated with the HVAC system for cold climate. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 1. Pp. 47–58. doi: 10.18720/MCE.77.5.
  11. Petrichenko, M.R., Kotov, E.V., Nemova, D.V., Tarasova, D.S., Sergeev, V.V. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 1. Pp. 130–140. doi: 10.18720/MCE.77.12.
  12. Petritchenko, M.R., Subbotina, S.A., Khairutdinova, F.F., Reich, E.V., Nemova, D.V., Olshevskiy, V.Ya., Sergeev, V.V. Impact of rustication joints interval on air mode in the air gap of ventilated facades. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 5. Pp. 40–48. doi: 10.18720/MCE.73.4.
  13. Zalata, Ye.S., Shavrov, Yu.Yu., Marichev, A.P., Maslikov, V.I., Strelets, K.I. Ispolzovaniye fotobiologicheskikh ustroystv v razlichnykh sistemakh zdaniy [The use of photobiological devices in various building systems]. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Komsomolsk-na-Amure*. 2017. Pp. 468–474. (rus)
  14. Janssen, M., Tramper, J., Mur, L.R., Wijffels, R.H. Enclosed outdoor photobioreactors: light regime, photosynthetic efficiency, scale-up, and future prospects. *Biotechnol Bioeng*. 2003. No. 81. Pp. 193–210.
  15. Chernova, N.I., Kiseleva, S.V., Rafikova, Yu.Yu. Vliyaniye klimaticheskikh i infrastrukturykh faktorov na resursnyy potentsial proizvodstva biotopliva iz mikrovodorosley [The influence of climatic and infrastructural factors on the resource potential of biofuel production from microalgae]. *Kongress reenon – XXI «Vozobnovlyayemaya energetika XXI VEK»*. 2016. Pp. 45–49. (rus)
  16. Dvoretzkiy, D.S., Peshkova, Ye.V., Temnov, M.S. Eksperimentalnoye opredeleniye tekhnologicheskikh rezhimov rosta biomassy mikrovodorosli khlorella s povyshennym soderzhaniyem lipidov [Experimental determination of technological regimes of growth of biomass of microalgae chlorella with a high content of lipids]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK - produkty zdorovogo pitaniya*. 2014. No. 2. Pp. 32–38. (rus)
  17. Fedyukhin, A., Sultanguzin, I., Gyl'Maliev, A., Sergeev, V. Biomass pyrolysis and gasification comprehensive modeling for effective power generation at combined cycle power plant. *Eurasian Chemicotechnological Journal*. 2017. Vol. 19(3). Pp. 245–253.
  18. Anikina, I.D., Sergeyev, V.V., Amosov, N.T., Luchko, M.G. Use of heat pumps in turbogenerator hydrogen cooling systems at thermal power plant. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42(1). Pp. 636–642.
  19. Andreyenko, T.I., Gabderakhmanova, T.S., Danilova, O.V. Atlas resursov vozobnovlyayemoy energii na territorii Rossii: nauch. Izdaniye [Atlas of renewable energy resources in Russia: scientific. Edition]. RKhTU im. D.I. Mendeleeva. Moskva. 2015. P. 160. (rus)
  20. SP 131.13330.2012 Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 23-01-99\* [SP 131.13330.2012 Construction climatology. Updated edition of SNIp 23-01-99\*]. (rus)
  21. Nagornov, S.A., Meshcheryakova, Yu.V. Issledovaniye usloviy kultivirovaniya mikrovodorosli khlorella v trubchatom fotobioreaktore [Investigation of the biomass // *Bioresource Technology*. 2004. No. 92. Pp. 103–109.
  22. Петриченко М.Р., Немова Д.В., Котов Е.В., Тарасова Д.С., Сергеев В.В. Вентилируемые фасады, интегрированные с инженерными системами здания для холодного климата // *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 1(77). С. 47–58.
  23. Петриченко М.Р., Котов Е.В., Немова Д.В., Тарасова Д.С., Сергеев В.В. Численное моделирование вентилируемых фасадов в экстремальных климатических условиях // *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 1(77). С. 130–140.
  24. Петриченко М.Р., Субботина С.А., Хайрутдинова Ф.Ф., Рейх Е.В., Немова Д.В., Ольшевский В.Я., Сергеев В.В. Влияние рустов на воздушный режим в вентилируемом фасаде // *Инженерно-строительный журнал*. 2017. № 5(73). С. 40–48.
  25. Залата Е.С., Шавров Ю.Ю., Маричев А.П., Масликов В.И., Стрелец К.И. Использование фотобиологических устройств в различных системах зданий // *Материалы V Международной научно-практической конференции Космольск-на-Амуре*. 29 – 30 ноября 2017 года. С. 468–474.
  26. Janssen M., Tramper J., Mur L.R., Wijffels R.H. Enclosed outdoor photobioreactors: light regime, photosynthetic efficiency, scale-up, and future prospects // *Biotechnol Bioeng*. 2003. No. 81. Pp. 193–210.
  27. Чернова Н.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Влияние климатических и инфраструктурных факторов на ресурсный потенциал производства биотоплива из микроводорослей // *Конгресс reenon–XXI «Возобновляемая энергетика XXI ВЕК»*. С. 45–49.
  28. Дворецкий Д.С., Пешкова Е.В., Темнов М.С. Экспериментальное определение технологических режимов роста биомассы микроводоросли хлорелла с повышенным содержанием липидов // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания*. 2014. № 2. С. 32–38.
  29. Fedyukhin, A., Sultanguzin, I., Gyl'Maliev, A., Sergeev, V. Biomass pyrolysis and gasification comprehensive modeling for effective power generation at combined cycle power plant // *Eurasian Chemicotechnological Journal*. 2017. Vol. 19(3). Pp. 245–253.
  30. Anikina, I.D., Sergeyev, V.V., Amosov, N.T., Luchko, M.G. Use of heat pumps in turbogenerator hydrogen cooling systems at thermal power plant // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42(1). Pp. 636–642.
  31. Андреев Т.И., Габдрахманова Т.С., Данилова О.В. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание. РХТУ им. Д.И. Менделеева. Москва. 2015. 160 с.
  32. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНИП 23-01-99\*
  33. Нагорнов С.А., Мещерякова Ю.В. Исследование условий культивирования микроводоросли хлорелла в трубчатом фотобиореакторе // *Вестник ТГТУ*. 2015. Т. 21. № 4. С. 653–659.
  34. Мещерякова Ю.В., Нагорнов С.А. Культивирование микроводоросли хлорелла с целью получения биотоплива // *Вопросы современной науки и практики*. 2012. Специальный выпуск (43). С. 33–36.
  35. Яковлев А.Н., Савинова Д.М., Кругликова Л.Л. Влияние фотометрических характеристик источника излучения на эффективность выращивания микроводоросли chlorella // *Высокие технологии в современной науке и технике*. 2014. С. 225–228.
  36. Прохоров А.М. Люкс. М.: Советская энциклопедия. 1990. Т. 2. С. 623.
  37. Ауджанова В.К. Морфологические и систематические характеристики хлореллы. Ее производство и

Zalata, E.S., Shavrov, Y.Y., Strelets, K.I., Emelyanova, M.S. Productivity of microalgae as biofuel for bioadaptive systems of facades. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 81(5). Pp. 43–51. doi: 10.18720/MCE.81.5.



- conditions for the cultivation of chlorella microalgae in a tubular photobioreactor]. Vestnik TGTU. 2015. No. 4. Pp. 653–659. (rus)
22. Meshcheryakova, Yu.V., Nagornov, S.A. Kultivirovaniye mikrovdorosli khlorella s tselyu polucheniya biotopliva [Cultivation of chlorella microalgae to produce biofuels]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Spetsialnyy vypusk. 2012. No. 43. Pp. 33–36. (rus)
  23. Yakovlev, A.N., Savinova, D.M., Kruglikova, L.L. Vliyaniye fotometricheskikh kharakteristik istochnika izlucheniya na effektivnost vyrashchivaniya mikrovdorosli khlorella [The effect of the photometric characteristics of the radiation source on the growth efficiency of chlorella]. Vysokie tekhnologii v sovremennoy nauke i tekhnike. Tomsk.: Izd-vo Natsionalnyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskiiy universitet. 2014. Pp. 225–228. (rus)
  24. Prokhorov, A.M. Lyuks [Lux]. M.: Sovetskaya entsiklopediya. 1990. P. 623. (rus)
  25. Audzhanova, V.K. Morfologicheskiye i sistemicheskiye kharakteristiki khlorelly. Yee proizvodstvo i primeneniye [Morphological and systematic characteristics of chlorella. The production and use]. Nauchnyy vestnik. 2014. No. 1(1). Pp. 113 – 126. (rus)
  26. Sorokina, K.N. Potentsial primeneniya mikrovdorosley v kachestve syrya dlya bioenergetiki [The potential of microalgae as a raw material for bioenergy]. Kataliz v promyshlennosti. 2012. No. 2. Pp. 63–72. (rus)
  27. Bodnar, O.I., Burega, N.V., Palchik, A.O., Viniarska, H.B., Grubinko, V.V. Optimization of Chlorella vulgaris Beij. Cultivation in a bioreactor of continuous action. Biotechnologia acta. 2016. No. 4. Pp. 42–49.
  28. Tamiya, H. Mass culture of algae. Ann Rev Plant Physiol. 1957. No. 8. Pp. 309–334.
  29. Temnov, M.S. Razrabotka tekhnologii polucheniya biotopliva iz mikrovdorosli khlorella vulgaris [Development of technology for biofuel production from microalgae chlorella vulgaris]. Tezisy doklada na konferentsii. Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, Tambov. 2015. No. 8. Pp. 201–202. (rus)
  30. Sirenko, L.A. Metody fiziologo-biologicheskogo issledovaniya vdorosley v gidrobiologicheskoy praktike [Methods of physiological and biological study of algae in hydrobiological practice]. Kiyev.: Nauk. Dumka. 1975. 247 p. (rus)
  31. Smart Material House BIQ. Published by: IBA Hamburg GmbH. July 2013.
  32. Baltrėnas, P., Misevičius, A. Biogas production experimental research using algae. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2015. URL: <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0169-z>
  - применение // Научный вестник. 2014. № 1(1). С. 113–126.
  26. Сорокина К.Н. Потенциал применения микроводорослей в качестве сырья для биоэнергетики // Катализ в промышленности. 2012. № 2. С. 63–72.
  27. Bodnar O.I., Burega N.V., Palchik A.O., Viniarska H.B., Grubinko V.V. Optimization of Chlorella vulgaris Beij. Cultivation in a bioreactor of continuous action // Biotechnologia acta. 2016. Vol. 9. № 4. Pp. 42–49.
  28. Tamiya H. Mass culture of algae // Ann Rev Plant Physiol. 1957. № 8. Pp. 309–334.
  29. Темнов М.С. Разработка технологии получения биотоплива из микроводоросли chlorella vulgaris // Тезисы доклада на конференции. Тамбовский государственный технический университет, Тамбов. С. 201–202.
  30. Сиренко Л.А. Методы физиолого-биологического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев.: Наук. Думка. 1975. 247 с.
  31. Smart Material House BIQ. Published by: IBA Hamburg GmbH. July 2013.
  32. Baltrėnas P., Misevičius A. Biogas production experimental research using algae // Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2015. URL: <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0169-z>

*Ekaterina Zalata,*  
+7(921)407-81-84; [ekaterinazalata@gmail.com](mailto:ekaterinazalata@gmail.com)

*Yurii Shavrov,*  
+7(981)937-11-13; [Sharohka@mail.ru](mailto:Sharohka@mail.ru)

*Kseniya Strelets,*  
+7(812)552-94-60; [kstrelets@mail.ru](mailto:kstrelets@mail.ru)

*Maria Emelyanova,*  
+7(812)428-40-10; [margar9@mail.ru](mailto:margar9@mail.ru)

*Екатерина Сергеевна Залата,*  
+7(921)407-81-84;  
эл. почта: [ekaterinazalata@gmail.com](mailto:ekaterinazalata@gmail.com)

*Юрий Юрьевич Шавров,*  
+7(981)937-11-13; эл. почта: [Sharohka@mail.ru](mailto:Sharohka@mail.ru)

*Ксения Игоревна Стрелец,*  
+7(812)552-94-60; эл. почта: [kstrelets@mail.ru](mailto:kstrelets@mail.ru)

*Мария Сергеевна Емельянова,*  
+7(812)428-40-10; эл. почта: [margar9@mail.ru](mailto:margar9@mail.ru)

© Zalata E.S., Shavrov Y.Y., Strelets K.I., Emelyanova M.S., 2018