

Производство биоэтанола второго поколения в Российской Федерации на фоне мировых тенденций

Максим Сергеевич Головин

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
maks_golovin@inbox.ru

Аннотация

Цель. Выявить тенденции производства и использования биоэтанола второго поколения в зарубежных странах, а также оценить потенциал развития производства и использования биоэтанола второго поколения в Российской Федерации (РФ).

Задачи. Отразить текущий уровень развития мировой биотопливной отрасли; выявить специфику производства и использования биоэтанола второго поколения в зарубежных странах; обобщить опыт государственной поддержки производства и использования биоэтанола второго поколения в зарубежных странах; проанализировать текущий уровень и потенциал развития производства биоэтанола в России.

Методология. В процессе исследования применены методы системного анализа, сравнительного анализа, статистический, математический, графический методы предоставления информации.

Результаты. Получена актуальная оценка объемов производства биоэтанола второго поколения в мире и в России; выявлены особенности государственного регулирования производства и использования биоэтанола второго поколения в Европейском союзе (ЕС), Бразилии, США и Китае; произведена сравнительная оценка экономической эффективности производства бензина и биоэтанола второго поколения в России; сформулированы рекомендации по применению механизмов государственной поддержки биотопливной отрасли в РФ.

Выводы. Несмотря на то, что мировое производство и использование биоэтанола второго поколения в настоящее время составляет в целом 65–125 млн литров, во многих странах на системной основе применяются механизмы государственной поддержки такого направления. Это обусловлено стремлением обеспечить декарбонизацию транспортного сектора, не оказывая отрицательного воздействия на продовольственную безопасность и естественные природные экосистемы. Развитие производства и использования биоэтанола второго поколения в России требует применения аналогичных механизмов государственной поддержки, при этом может быть актуальным в контексте необходимости достижения целей в области снижения выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: биоэтанол, транспортное биотопливо, декарбонизация транспортного сектора, биоэнергетика, устойчивое развитие

Для цитирования: Головин М. С. Производство биоэтанола второго поколения в Российской Федерации на фоне мировых тенденций // *Экономика и управление*. 2022. Т. 28. № 11. С. 1133–1145. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-11-1133-1145>

Благодарности: автор выражает глубокую благодарность заместителю генерального директора по социальным вопросам ООО «Кировский биохимический завод» Андрею Андреевичу Гордину за предоставленные в процессе исследования материалы.

Production of second-generation bioethanol in the Russian Federation in the context of global trends

Maksim S. Golovin

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia а, maks_golovin@inbox.ru

Abstract

Aim. The presented study aims to identify trends in the production and use of second-generation bioethanol in foreign countries and to assess the potential for the development of production and use of second-generation bioethanol in the Russian Federation.

Tasks. The author describes the current level of development of the global biofuel industry; identifies the specific features of the production and use of second-generation bioethanol in foreign countries; summarizes the experience of government support for the production and use of second-generation bioethanol in foreign countries; analyzes the current level and development potential of bioethanol production in Russia.

Methods. This study uses the methods of system analysis and comparative analysis, as well as statistical, mathematical, and graphical methods of providing information.

Results. Current production volumes of second-generation bioethanol in the world and in Russia are assessed; the peculiarities of government regulation of the production and use of second-generation bioethanol in the European Union (EU), Brazil, the US, and China are identified; the economic efficiency of gasoline and second-generation bioethanol production in Russia is compared; recommendations on the use of government support measures in the Russian biofuel industry are formulated.

Conclusions. Even though global production and use of second-generation bioethanol currently amounts to a total of 65–125 million liters, mechanisms of government support for this area are systematically applied in many countries. This is due to the desire to decarbonize the transport sector without adversely affecting food security and natural ecosystems. The development of the production and use of second-generation bioethanol in Russia requires similar mechanisms of government support, and it can be relevant in the context of the need to achieve goals in the field of reducing greenhouse gas emissions.

Keywords: *bioethanol, transport biofuels, decarbonization of the transport sector, bioenergy, sustainable development*

For citation: Golovin M.S. Production of second-generation bioethanol in the Russian Federation in the context of global trends. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2022;28(11):1133-1145. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2022-11-1133-1145>

Acknowledgments: The author expresses deep gratitude to Andrey Andreevich Gordin, Deputy General Director for Social Affairs of the Kirov Biochemical Plant, for the materials provided during the research.

Введение

Производство и использование транспортного биотоплива устойчиво развивается в мировых масштабах на протяжении нескольких десятилетий. В основе развития находится системная государственная политика, направленная на диверсификацию структуры энергопотребления, стимулирование экономического роста и снижение выбросов загрязняющих веществ. К началу 2022 г. реализация такой политики осуществлялась в 65 странах [1], а удельная доля транспортного биотоплива в совокупном энергопотреблении транспортного сектора достигла 3 % [2].

К основным разновидностям этого энергосносителя относятся биоэтанол, биодизель *FAME* и биодизель *HVO/HEFA* (доли которых составляют 69 %, 26 % и 5 % соответственно) [3]. Использование указанных видов транспортного биотоплива возможно в рамках существующих в транспортном секторе технологий, не требует кардинального изменения инфраструктуры дистрибуции моторного топлива (в зарубежных научных исследованиях такая особенность характеризуется как “drop-in fuels”). Следует отметить, что в основном данные виды биотоплива применяют в качестве комплементарной топливной добавки в топливных смесях с традиционными видами

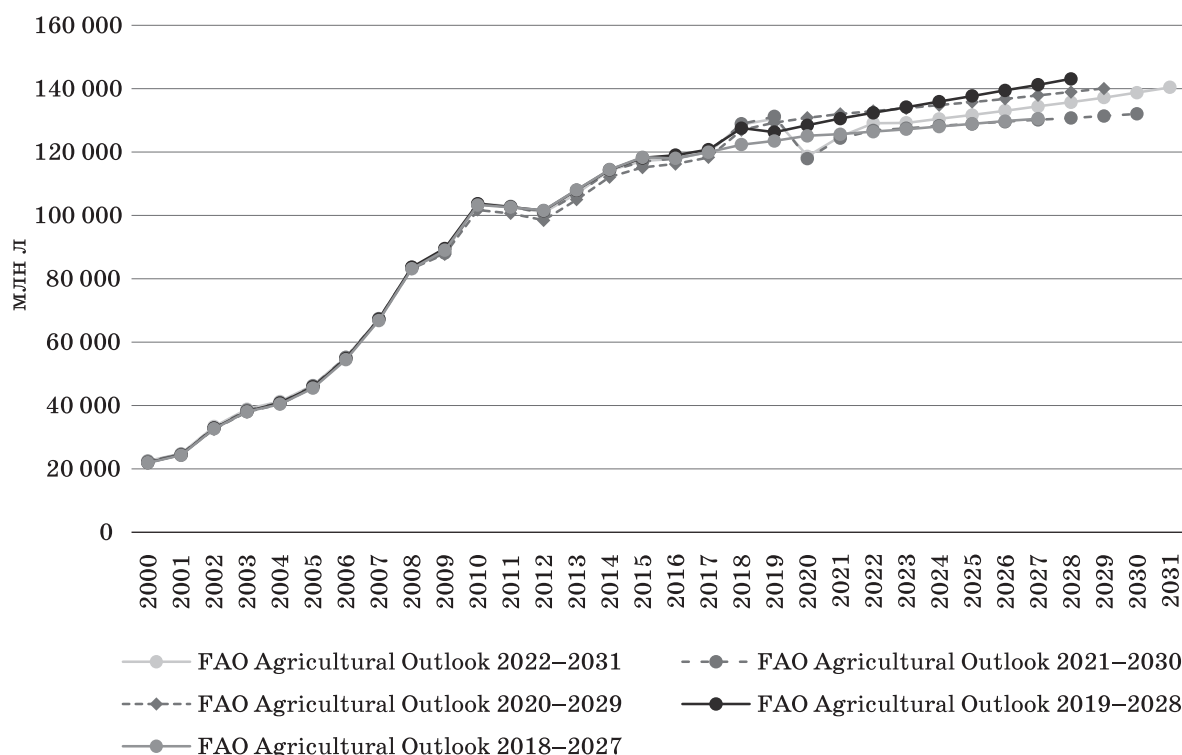


Рис. 1. Прогнозные объемы мирового производства биоэтанола
Fig. 1. Projected volumes of global bioethanol production

Источник: по данным FAO Agricultural Outlook // OECD.Stat. URL: <https://stats.oecd.org/> (дата обращения: 05.10.2022).

моторного топлива — бензином и дизельным топливом.

По оценкам экспертов Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (далее — ФАО), в 2021 г. мировое производство биоэтанола составило 125 млрд литров [4]. Основное производство сосредоточено в США, Бразилии, Китае и странах ЕС (доли которых составляют 47 %, 24 %, 9 % и 5 % соответственно). На фоне пандемии COVID-19 мировое производство несколько сократилось по отношению к 2019 г., но в долгосрочной перспективе эксперты ФАО прогнозируют рост этого показателя, как видно на рисунке 1. Главный прирост произойдет за счет реализации государственных программ в развивающихся странах, в первую очередь в Бразилии.

Производимый в мире биоэтанол практически целиком относится к категории биотоплива первого поколения, поскольку главным источником сырья является «продовольственная» сельскохозяйственная продукция: зерновые (прежде всего — кукуруза и пшеница) и сахаросодержащие культуры (сахарный тростник, свекла), отходы сахарной промышленности, а в ряде государств — маниок. С одной стороны, это

обстоятельство стимулирует развитие агропромышленного комплекса (АПК) и сельских территорий, с другой — предопределяет критическое отношение к транспортному биотопливу. Основные критические положения можно обобщить следующим образом:

а) производство биоэтанола первого поколения формирует дополнительный спрос на сельскохозяйственную продукцию, что обостряет проблему обеспечения продовольственной безопасности (*food versus fuel dilemma*);

б) дополнительный спрос на сельскохозяйственную продукцию способствует расширению сельскохозяйственных угодий, сокращению мирового лесного покрова и отрицательному антропогенному воздействию на естественные природные экосистемы (*land use changes*);

в) сокращение мирового лесного покрова фактически увеличивает выбросы парниковых газов, поскольку сельскохозяйственная пашня обладает меньшим потенциалом улавливания и накопления углекислого газа по сравнению с лесами.

В данных условиях особую важность приобретает стимулирование выпуска био-

Производство лигноцеллюлозного биоэтанола в ряде стран в 2017–2021 гг., млн л

Table 1. Production of lignocellulose bioethanol in some countries in 2017–2021, million liters

Страна	2017	2018	2019	2020	2021
Страны ЕС	40	10	10	25	50
США	38	31	37,2	7,8	2,2
Бразилия	17	25	30	32	40
Китай	30	20	0	0	0
Итого	125	86	77,2	64,8	92,2

Источники: European Union Biofuels Annual // USDA. Report Number: E42022-0048. 2022. July 13. P. 14; Spreadsheet of RIN Generation and Renewable Fuel Volume Production by Fuel Type for the Renewable Fuel Standard // EPA. URL: <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/spreadsheet-rin-generation-and-renewable-fuel-0> (дата обращения: 05.10.2022); Brazil Biofuels Annual // USDA. Report Number: BR2021-0030. 2021. August 30. P. 20; China Biofuels Annual // USDA. Report Number: CH2021-0096. 2021. September 13. P. 9.

этанола второго и третьего поколений. Источник сырья для производства биоэтанола второго поколения — непродовольственная лигноцеллюлозная биомасса (древесина и древесные отходы, целлюлозные сельскохозяйственные отходы, а также специально выращиваемые растительные культуры с коротким вегетационным циклом, бытовые отходы) [5]. Биоэтанол третьего поколения основан на использовании в качестве сырья водорослей [5]. Если технологии производства биотоплива третьего поколения в настоящее время находятся на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и пилотных проектов [6, р. 27], то выпуск биотоплива второго поколения осуществляется в промышленных масштабах.

Особенности производства биоэтанола второго поколения в зарубежных странах

Оценка объемов совокупного мирового выпуска биоэтанола второго поколения является сложной задачей ввиду фрагментарности статистических сведений¹. Зарубежные ученые пишут, что основное производство лигноцеллюлозного биоэтанола сосредоточено в США, странах ЕС, Бразилии и Китае [7]. Небольшие проекты реализуются и в Канаде, Индии и других государствах, но открытые данные, отражающие реальные объемы выпуска, отсутствуют. С учетом того, что существующие заводы зачастую работают не на полную мощность, совокуп-

¹ Кроме того, данная задача осложнена тем, что ряд исследователей относят ко второму поколению биотоплива биоэтанол, сырьем для производства которого являются отходы сахарной промышленности и переработки зерна.

ный ежегодный объем производства лигноцеллюлозного биоэтанола в упомянутых странах оценивается в 65–125 млн литров, как видно из таблицы 1.

Полученные результаты оценки свидетельствуют о том, что мировое производство биоэтанола второго поколения не достигло показателей, прогнозирувавшихся экспертами в 2008–2014 гг. Так, прогноз ФАО от 2010 г. предполагал рост производства этой разновидности транспортного биотоплива до 11 млрд литров к 2019 г. [8, р. 87]. В прогнозе 2012 г. эксперты ФАО оценивали рост производства биоэтанола второго поколения до 17 млрд литров к 2021 г. [9, р. 95]. Во многом приведенные прогнозы базируются на ожидании успешной реализации отраслевых программ в США (*Renewable Fuel Standard 2*), а также ЕС (*Renewable Energy Directive*).

В настоящее время прогнозы ФАО по развитию производства биоэтанола второго поколения консервативны: в 2021 [10, р. 204] и 2022 [4, р. 236] гг. эксперты данной организации не предполагали существенного роста этого показателя в долгосрочной перспективе. Главная причина, предопределяющая скептицизм, заключается в том, что производство биоэтанола из лигноцеллюлозной биомассы менее экономически эффективно по сравнению с производством бензина и биоэтанола из «продовольственных» сельскохозяйственных культур. По оценкам специалистов, задействованных в программе *IEA Bioenergy: Task 41*, затраты на производство биоэтанола второго поколения в два-два с половиной раза выше затрат на производство биоэтанола первого поколения и в три с половиной-четыре раза выше цен на традиционные виды моторного топлива [11, р. 57].

Спрос на лигноцеллюлозный биоэтанол, а также привлечение частных инвестиций в создание производственных мощностей обеспечиваются исключительно благодаря государственной поддержке. Рассмотрим ее ключевые элементы. В ЕС на наднациональном уровне действует директива *Renewable Energy Directive II*, согласно которой к 2030 г. доля продвинутого биотоплива¹ в совокупной структуре энергопотребления транспортного сектора должна достигнуть 3,5 % [12]. Действие указанной нормы предполагает в том числе развитие производства и использования биоэтанола второго поколения.

Для достижения цели правительства стран — членов ЕС разрабатывают комплексные государственные программы, подразумевающие применение как административных инструментов регулирования, так и экономических инструментов стимулирования. Наибольший потенциал развития отрасль имеет в странах, в законодательствах которых закреплено обязательное содержание биоэтанола в топливных смесях с бензином и регулирование норм выбросов углекислого газа от использования топливных смесей, при этом дополнительные механизмы стимулирования формируют преимущества использования биоэтанола второго поколения по сравнению с биоэтанолом первого поколения, что отражено в таблице 2.

Невыполнение обязательных требований приводит к штрафным санкциям, а в ряде случаев — к запрету использования топливной смеси. Аналогичные механизмы регулирования, но с определенными особенностями, применяются и в других странах ЕС. Широко распространена практика субсидирования использования транспортного биотоплива за счет налоговых льгот, в первую очередь — за счет освобождения (полного либо частичного) от уплаты налогов на выбросы углекислого газа, акцизных сборов [13, р. 12]. Кроме того, производители биоэтанола получают преимущества за счет инструментов перекрестного субсидирования, лежащих в основе уникального

¹ Под продвинутыми видами топлива в законодательстве ЕС подразумеваются разновидности биотоплива, произведенные не из «продовольственного» сельскохозяйственного сырья. К такому сырью относятся жировые отходы пищевой и перерабатывающей промышленности, лигноцеллюлозная биомасса, бытовые и муниципальные отходы, водоросли, стоки сточных вод и др.

по масштабам механизма торговли квотами на выбросы углекислого газа *Emissions Trading System (EU ETS)*.

В настоящее время в ЕС рассматривают поправки к директиве *RED II*, нацеленные на увеличение производства и использования биотоплива не из «продовольственного» сырья. В соответствии с ключевыми положениями поправок становятся актуальными следующие утверждения:

а) максимальная удельная доля транспортного биотоплива первого поколения в структуре совокупного энергопотребления транспортного сектора не должна превышать 7 %;

б) показатели эффектов снижения эмиссии углекислого газа при использовании транспортного биотоплива не должны быть ниже 50 %;

в) производство транспортного биотоплива не должно способствовать возникновению отрицательных эффектов в структуре землепользования (в первую очередь — стимулировать использование в качестве сырья сельскохозяйственных «продовольственных» культур) [14].

Принятие поправок, наряду с реализацией «Зеленого пакта» (*“European Green Deal”*), согласно которому к 2030 г. предполагается сокращение эмиссии автомобильным транспортом парниковых газов на 55 % [15]), должно сформировать дополнительные стимулы к увеличению производства биоэтанола второго поколения и укрепить лидирующие позиции ЕС в этом направлении. Сегодня на территории ЕС действуют четыре завода по производству лигноцеллюлозного биоэтанола в промышленных масштабах (их совокупная максимальная мощность составляет 125 млн л в год) [16, р. 32].

В Бразилии в настоящее время функционируют два завода по производству лигноцеллюлозного биоэтанола (их совокупная максимальная мощность составляет 102 млн л в год) [17, р. 14]. Эти заводы функционируют примерно на треть от своих плановых мощностей, а основной объем производимого биоэтанола экспортируется в США и ЕС [18, р. 23]. Несмотря на то, что в Бразилии сегодня государственная поддержка производства и использования биоэтанола второго поколения осуществляется в ограниченных масштабах, в среднесрочной перспективе будет реализовано несколько инвестиционных проектов (в том числе экспортноориентированных), которые позволят увеличить

Регулирование обязательного содержания биоэтанола в топливных смесях с бензином в некоторых странах ЕС

Table 2. Regulation of mandatory bioethanol content in fuel mixtures containing gasoline in some EU countries

Страна	Специфика регулирования
Финляндия	Норма обязательного содержания биотоплива в топливных смесях с традиционными видами моторного топлива — 20 %. Если биотопливо произведено из отходов, непродовольственной целлюлозной или лигноцеллюлозной биомассы, то его содержание засчитывается в двойном размере (то есть достаточно 10 % содержания биотоплива в топливной смеси)
Италия	Норма обязательного содержания биотоплива в топливных смесях с традиционными видами моторного топлива — 9 %. При этом 1,85 % должно приходиться на «продвинутые» виды биотоплива. Если последнее произведено из отходов, непродовольственной целлюлозной или лигноцеллюлозной биомассы, то его содержание засчитывается в двойном размере
Германия	В стране осуществлен переход от прямого административного регулирования содержания биотоплива в топливных смесях к регулированию норм выбросов парниковых газов от использования энергоносителей в транспортном секторе (при сохранении целевых показателей для отрасли). С 2020 г. показатели эмиссии должны быть снижены не менее чем на 6 % относительно «стандартных» показателей выбросов углекислого газа при использовании бензина и дизельного топлива. Это опосредованно вынуждает поставщиков топливных смесей добавлять в бензин биоэтанол, в том числе второго поколения. Это способствует и распространению электромобилей
Швеция	В стране осуществлен переход от прямого административного регулирования содержания биоэтанола в бензине к регулированию норм выбросов парниковых газов вследствие использования бензина (при сохранении целевых показателей для отрасли). С 2017 г. показатели эмиссии должны быть снижены не менее чем на 2,6 % относительно «стандартных» показателей выбросов углекислого газа при использовании бензина и дизельного топлива
Испания	Норма обязательного содержания биотоплива в топливных смесях с традиционными видами моторного топлива — 10 %. При этом 0,2 % должно приходиться на «продвинутые» виды биотоплива. Если последнее произведено из отходов, непродовольственной целлюлозной или лигноцеллюлозной биомассы, то его содержание засчитывается в двойном размере
Нидерланды	Норма обязательного содержания биотоплива в топливных смесях с традиционными видами моторного топлива — 16,4 %. При этом 1,7 % должно приходиться на «продвинутые» виды биотоплива. Если оно произведено из отходов, непродовольственной целлюлозной или лигноцеллюлозной биомассы, то его содержание засчитывается в двойном размере
Австрия	Норма обязательного содержания биоэтанола в топливных смесях с бензином — 3,4 %. При этом 0,5 % должно приходиться на «продвинутые» виды биотоплива

Источник: составлено на основе данных Compare policies // Res Legal. URL: <http://www.res-legal.eu/compare-policies/> (дата обращения: 15.10.2022).

совокупные производственные мощности до 280 млн л в год [19, р. 38–39].

Главный инструмент поддержки производства биоэтанола второго поколения в Бразилии — субсидии (льготные кредитные программы, грантовая поддержка отраслевых проектов, инвестиции в капитал), распределение которых осуществляет Национальный банк социального и экономического развития (*BNDES*) [20, р. 112–113]. В ближайшей перспективе государственная поддержка указанного направления усилится, поскольку Правительство Бразилии приняло существенные обязательства по сокращению эмиссии парниковых газов в рамках

Парижского соглашения по климату [21, р. 97], а также инициировало программу по дальнейшему снижению эмиссии парниковых газов транспортным сектором “Fuel of the future programme” [22].

В целом биотопливная отрасль Бразилии базируется на использовании в качестве сырья сельскохозяйственных продовольственных культур (сахарного тростника и отходов сахарной промышленности, кукурузы). Нормы обязательного содержания биоэтанола в бензине (минимум 27 % содержания биоэтанола в топливной смеси с бензином), налоговые льготы и другие инструменты государственной поддержки не формируют

преимущества использования биоэтанола второго поколения перед применением биоэтанола первого поколения [23, р. 2].

В США на протяжении длительного периода действует программа *Renewable Fuel Standard II*. В 2007 г. в рамках этой программы установлен амбициозный целевой показатель ежегодного производства и использования транспортного биотоплива из целлюлозной биомассы, который к 2022 г. должен превысить 62 млрд л [24]. Приведенный показатель достигнут не был, и в настоящее время производство биоэтанола второго поколения ограничено несколькими миллионами литров в год (несмотря на то, что в стране существуют мощности по производству 170 млн л в год, биоэтанол из лигноцеллюлозной биомассы можно производить на нескольких заводах, специализирующихся на выпуске биоэтанола из зерна) [25].

Для развития производства и использования биоэтанола второго поколения в США применяют множество инструментов государственной поддержки. Основным являются нормы обязательного содержания биотоплива в топливных смесях с традиционными энергоносителями (*percentage standards*) [26]. В условиях фактической нехватки предложения на рынке биоэтанола второго поколения применяется механизм “cellulosic waiver credits”¹, позволяющий поставщикам топливных смесей не добавлять требуемое биотопливо в бензин (на платной основе) [27]. Кроме того, на территории США действуют ряд механизмов субсидирования:

а) налоговые льготы производителям и поставщикам топливных смесей с биотопливом второго поколения;

б) кредитные гарантии и грантовая поддержка производителям биотоплива второго поколения;

в) финансовая поддержка НИОКР, пилотных и демонстрационных проектов (в том числе по линии Департамента обороны США) [28; 29, р. 9–10; 30, р. 15–19; 31, с. 64–69].

В Китае сегодня отсутствует масштабное производство и использование биоэтанола второго поколения. Это обусловлено отсутствием государственной поддержки данного направления, несмотря на то, что в стране существуют мощности, позволяющие произ-

водить около 65 млн т лигноцеллюлозного биоэтанола ежегодно (инвесторами заявлено введение в действие дополнительных производственных мощностей в объеме 856 млн л) [32, р. 15–16].

Потенциал производства биоэтанола второго поколения в России

В российском государстве развита спиртовая промышленность, ежегодный выпуск этанола составляет 640 млн л². Все производство основано на сельскохозяйственном «продовольственном» сырье, в первую очередь — зерне. Случаев применения этанола в качестве транспортного биотоплива не выявлено (за исключением отдельных пилотных проектов). Мощности по производству биоэтанола второго поколения фактически сохранены лишь у ООО «Кировский биохимический завод».

Производство и использование транспортного биотоплива в целом и биоэтанола в частности в России может быть целесообразным с точки зрения компонента государственной стратегии по снижению выбросов парниковых газов. Замещение литра бензина эквивалентной по энергетическому содержанию единицей биоэтанола снижает эмиссию углекислого газа на 37–85 % (в зависимости от сырья и технологии производства) [11], при этом не требует существенных технических изменений в транспортных средствах и инфраструктуре дистрибуции моторного топлива (при использовании топливных смесей с небольшим содержанием биоэтанола). Кроме того, важным для нашей страны является обладание собственными технологиями производства биоэтанола и возможность сотрудничества со странами БРИКС в этой области, что видится особенно актуальным в условиях санкционного давления со стороны западных стран.

Возможность развития биотопливной отрасли в качестве инструмента снижения выбросов парниковых газов предусмотрена в утвержденной Правительством РФ «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [33]. Реализация такого направления требует разработки и использования мер государственной поддержки, аналогичных

¹ В русском языке отсутствует общепринятый перевод данного термина.

² FAO Agricultural Outlook // OECD.Stat. URL: <https://stats.oecd.org/> (дата обращения: 05.10.2022).



Рис. 2. Сравнение затрат на производство биоэтанола второго поколения и бензина
Fig. 2. Comparison between the costs of second-generation bioethanol and gasoline production

Источники: данные по затратам на производство биоэтанола второго поколения предоставлены ООО «Кировский биохимический завод»; данные по затратам на производство бензина рассчитаны на основе статистики Росстата. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/stru_roz-cen.html (дата обращения: 25.10.2022).

тем, которые применяются в исследуемых зарубежных странах. Внесение изменений в 2018 г. в Федеральный закон от 28 ноября 2018 г. № 448-ФЗ «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции и об ограничении потребления (распития) алкогольной продукции» закрепило в правовом пространстве определение понятия «биоэтанол», а также установило принципиальные правовые рамки производства и использования биоэтанола [34]. Одновременно с этим, согласно нормам в указанных поправках, фактически запрещено осуществлять производство пищевого спирта и биоэтанола на одних производственных мощностях, что не благоприятствует диверсификации деятельности существующих заводов в РФ. Кроме того, не введены налоговые льготы на использование биоэтанола.

В данных условиях массовое специализированное производство биоэтанола возникнет только в рамках прогнозируемого спроса, сформированного административным способом за счет применения норм обязательного содержания биоэтанола в бензине. Особенно это относится к производству и использованию биоэтанола второго поколения, поскольку затраты на производство литра данного энергоносителя существенно превышают затраты на производство литра бензина, как видно на рисунке 2.

Развитие производства и использования биоэтанола второго поколения в России видится важным с точки зрения восстано-

вления технологического потенциала в области биотехнологии, существовавшего в СССР. К концу 1980-х гг. в Советском Союзе действовали 40 предприятий по производству гидролизного спирта. Производство спирта не из сельскохозяйственного сырья позволяло снижать нагрузку на продовольственные отрасли; развивалась микробиологическая промышленность, позволяющая выпускать значимые компоненты комбикормов для сельскохозяйственных животных; осуществлялся выпуск возвратной и побочной химической продукции (фурфурола, лаков, смол, активированных углей и др.) [35, с. 49].

Можно согласиться с тезисом о том, что производство биоэтанола первого поколения в России представляется целесообразным с точки зрения формирования дополнительных рынков сбыта для сельскохозяйственной продукции (особенно в сезоны, если наблюдается перепроизводство зерна и сахарной свеклы) [36, с. 13]. В частности, это актуально для сезона 2022/2023, по итогам которого урожай зерна в РФ превысит 150 млн т, внутренний рынок способен использовать примерно половину такого урожая, а экспортный потенциал ограничен санкционным давлением западных стран.

Вместе с тем приоритетом в агропродовольственной политике остается достижение продовольственной безопасности, в том числе доступность продуктов питания широким слоям населения. Именно этим обусловлено применение экспортных ограничений в зерновой отрасли (экспортных пошлин, экспортных квот, запретов на экспорт) в по-

следние годы. Производство и использование биоэтанола второго поколения в России будет важным компонентом стратегии декарбонизации транспортного сектора, поскольку не будет переориентировать сельскохозяйственную отрасль от производства сырья для продовольствия к производству сырья для энергетического комплекса.

Выводы

Производство и использование биоэтанола устойчиво развивается в мировых масштабах на протяжении нескольких десятилетий. Основная разновидность указанного энергоносителя — биоэтанол первого поколения (из «продовольственного» сельскохозяйственного сырья), производство которого в настоящее время оценивается в 125 млрд л.

Производство биоэтанола второго поколения (из непродовольственной лигноцеллюлозной биомассы) сегодня составляет 65–125 млн л. Развитие производства и использования биоэтанола второго поколения не приведет к обострению проблемы продовольственной безопасности и росту антропогенного воздействия на естественные

природные экосистемы, связанного с вовлечением в сельскохозяйственный оборот новых земель. Кроме того, реализация исследуемого направления позволяет снижать эмиссию парниковых газов транспортным сектором и диверсифицировать структуру энергопотребления. Это предопределяет применение системной государственной политики в ЕС, Бразилии и США, направленной на развитие производства и использования биоэтанола второго поколения.

В России отсутствует производство, использование транспортного биотоплива в целом и биоэтанола второго поколения в частности. Не обнаружены элементы государственной поддержки, аналогичные тем, которые применяются в зарубежных странах. С учетом того, что производство биоэтанола второго поколения существенно дороже производства бензина, развитие данного направления требует системной государственной политики (в первую очередь — применения норм обязательного содержания биоэтанола в топливных смесях с бензином). Актуальность развития биотопливной отрасли обусловлена необходимостью снижения выбросов парниковых газов в нашей стране.

Список источников

1. The Digest's Biofuels Mandates Around the World // The Digest. 2022. January 3. URL: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2022/01/03/the-digests-biofuels-mandates-around-the-world-2022/> (дата обращения: 05.10.2022).
2. Transport Biofuels. Tracking report — November 2021 // International Energy Agency (IEA). URL: <https://www.iea.org/reports/transport-biofuels> (дата обращения: 05.10.2022).
3. Ebadian M., McMillan J. D., Saddler J. N., van Dyk S. Implementation agendas: 2018-2019 update compare and contrast transport biofuels policies. IEA Bioenergy Task 39. Paris: IEA Bioenergy; 2019. 256 p. URL: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/03/IEA-Bioenergy-Task-39-Implementation-Agendas-Final-Draft-Feb-4-2020.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
4. OECD-FAO agricultural outlook 2022-2031. Paris: OECD, 2022. 363 p. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/f1b0b29c-en.pdf?expires=1667928129&id=id&accname=guest&checksum=AB08555015F18D0BC7E729D98B74BA6F> (дата обращения: 05.10.2022).
5. Kargbo H., Harris J. S., Phan A. N. "Drop-in" fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 135. Article 110168. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110168
6. Maliha A., Abu-Hijleh B. A review on the current status and post-pandemic prospects of third-generation biofuels // Energy Systems. 2022. DOI: 10.1007/s12667-022-00514-7
7. Padella M., O'Connell A., Prussi M. What is still Limiting the Deployment of Cellulosic Ethanol? Analysis of the Current Status of the Sector // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. No. 21. Article 4523. DOI: 10.3390/app9214523
8. OECD-FAO agricultural outlook 2010-2019. Paris: OECD, 2010. 251 p.
9. OECD-FAO agricultural outlook 2012-2021. Paris: OECD, 2012. 286 p.
10. OECD-FAO agricultural outlook 2021-2030. Paris: OECD, 2021. 337 p. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/19428846-en.pdf?expires=1667927525&id=id&accname=guest&checksum=76F0D8A59A978DD27365F6693F5777D1> (дата обращения: 05.10.2022).
11. Brown A., Waldheim L., Landälv I., Saddler J., Ebadian M., McMillan J. D., Bonomi A., Klein B. Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction // IEA Bioenergy. 2020. 88 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf (дата обращения: 05.10.2022).

12. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) // EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN> (дата обращения: 05.10.2022).
13. Overview of biofuels policies and markets across the EU-27 and the UK Brussels: ePURE, 2020. 70 p. URL: <https://www.epure.org/wp-content/uploads/2021/01/201104-DEF-REP-Overview-of-biofuels-policies-and-markets-across-the-EU-Nov.-2020.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
14. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council, Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council and Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652 // EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0557> (дата обращения: 05.10.2022).
15. Delivering the European Green Deal // European Commission. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en (дата обращения: 05.10.2022).
16. Flach B., Lieberz S., Bolla S. European Union (EU) biofuels annual 2022. Report No.: E42022-0048. Washington, DC: USDA, 2022. 44 p. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_The%20Hague_European%20Union_E42022-0048.pdf (дата обращения: 05.10.2022).
17. Implementation of bioenergy in Brazil — 2021 update // IEA Bioenergy. 2021. 15 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_Brazil_final.pdf (дата обращения: 05.10.2022).
18. Kramer D. Whatever happened to cellulosic ethanol? // Physics Today. 2022. Vol. 75. No. 7. P. 23–24. DOI: 10.1063/PT.3.5036
19. Barros S. Brazil Biofuels Annual 2022. Report No.: BR2022-0047. Washington, DC: USDA, 2022. 42 p. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_BR2022-0047.pdf (дата обращения: 05.10.2022).
20. Ebadian M., McMillan J. D., Saddler J. N. Implementation agendas: Compare-and-contrast transport biofuels policies (2019-2021 update). IEA Bioenergy Task 39. Paris: IEA Bioenergy, 2022. 312 p. URL: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/04/Task-39-Implementation-Agendas-Report-2019-2021-Update.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
21. Second-generation sugarcane bioenergy & biochemicals: Advanced low-carbon fuels for transport and industry Brasília: Center for Strategic Studies and Management; 2017. 128 p. URL: https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Ethanol2G_web.pdf (дата обращения: 05.10.2022).
22. Fuel of the future programme // IEA. 2022. 22 March. URL: <https://www.iea.org/policies/13469-fuel-of-the-future-programme> (дата обращения: 05.10.2022).
23. Cristina Garcia T., Durand-Morat A., Yang W., Popp M., Schreckhise W. Consumers' willingness to pay for second-generation ethanol in Brazil // Energy Policy. 2022. Vol. 161. Article 112729. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112729
24. Overview for Renewable Fuel Standard // Environmental Protection Agency (EPA). 2022. February 22. URL: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard> (дата обращения: 05.10.2022).
25. Biorefinery Locations Map // RFA. URL: <https://ethanolrfa.org/resources/ethanol-biorefinery-locations> (дата обращения: 05.10.2022).
26. Renewable Fuel Standard (RFS) Program: RFS Annual Rules // Federal Register. 2022. Vol. 87. No. 126. P. 72436–72501. URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2022-07-01/pdf/2022-12376.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
27. Cellulosic Waiver Credit Price Calculation for 2021 and 2022. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2022. 5 p. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1015J63.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
28. Federal and state laws and incentives. Alternative Fuels Data Center // U.S. Department of Energy. URL: <https://afdc.energy.gov/laws> (дата обращения: 05.10.2022).
29. Ernst A., Smolker R. Dead end Road: The false promises of cellulosic London: Biofuelwatch, 2018. 44 p. URL: <http://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2018/09/Dead-End-Road-The-false-promises-of-cellulosic-biofuels.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
30. Implementation of bioenergy in the United States – 2021 update. Paris: IEA Bioenergy; 2021. 21 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_USA_final.pdf (дата обращения: 05.10.2022).
31. Овчинников О. Г. Влияние научно-технического прогресса на продовольственную безопасность (на примере развития биоэнергетики в сельском хозяйстве США) // США и Канада: экономика, политика, культура. 2017. № 1 (565). С. 54–74.

32. McGrath C. China Biofuels Annual 2022. Report No.: CH2022-0089. Washington, DC: USDA; 2022. 20 p. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Beijing_China%20-%20People%27s%20Republic%20of_CH2022-0089.pdf (дата обращения: 05.10.2022).
33. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р // Правительство РФ: офиц. сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/137358/> (дата обращения: 05.10.2022).
34. О внесении изменений в Федеральный закон «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции и об ограничении потребления (распития) алкогольной продукции»: федер. закон от 28 ноября 2018 г. № 448-ФЗ // Справ.-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/55799.html/> (дата обращения: 05.10.2022).
35. Суходолов А. П., Хаматаев В. А. Развитие отечественной гидролизной промышленности // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2009. № 3 (65). С. 49–52.
36. Сидак М. В. Долгосрочные тренды рынка сырья в России для производства биоэтанола // Сахарная свекла. 2021. № 5. С. 13–18. DOI: 10.25802/SB.2021.92.25.002

References

1. The Digest's biofuels mandates around the world 2022. The Digest. Jan. 03, 2022. URL: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2022/01/03/the-digests-biofuels-mandates-around-the-world-2022/> (accessed on 05.10.2022).
2. Transport biofuels. Tracking report – November 2021. International Energy Agency (IEA). URL: <https://www.iea.org/reports/transport-biofuels> (accessed on 05.10.2022).
3. Ebadian M., McMillan J.D., Saddler J.N., van Dyk S. Implementation agendas: 2018-2019 update compare and contrast transport biofuels policies. IEA Bioenergy Task 39. Paris: IEA Bioenergy; 2019. 256 p. URL: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/03/IEA-Bioenergy-Task-39-Implementation-Agendas-Final-Draft-Feb-4-2020.pdf> (accessed on 05.10.2022).
4. OECD-FAO agricultural outlook 2022-2031. Paris: OECD; 2022. 363 p. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/f1b0b29c-en.pdf?expires=1667928129&id=id&accname=guest&checksum=AB08555015F18D0BC7E729D98B74BA6F> (accessed on 05.10.2022).
5. Kargbo H., Harris J.S., Phan A.N. “Drop-in” fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;135:110168. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110168
6. Maliha A., Abu-Hijleh B. A review on the current status and post-pandemic prospects of third-generation biofuels. *Energy Systems*. 2022. DOI: 10.1007/s12667-022-00514-7
7. Padella M., O'Connell A., Prussi M. What is still limiting the deployment of cellulosic ethanol? Analysis of the current status of the sector. *Applied Sciences*. 2019;9(21):4523. DOI: 10.3390/app9214523
8. OECD-FAO agricultural outlook 2010-2019. Paris: OECD; 2010. 251 p.
9. OECD-FAO agricultural outlook 2012-2021. Paris: OECD; 2012. 286 p.
10. OECD-FAO agricultural outlook 2021-2030. Paris: OECD; 2021. 337 p. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/19428846-en.pdf?expires=1667927525&id=id&accname=guest&checksum=76F0D8A59A978DD27365F6693F5777D1> (accessed on 05.10.2022).
11. Brown A., Waldheim L., Landälv I., Saddler J., Ebadian M., McMillan J.D., Bonomi A., Klein B. Advanced biofuels – potential for cost reduction. Paris: IEA Bioenergy; 2020. 88 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf (accessed on 05.10.2022).
12. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN> (accessed on 05.10.2022).
13. Overview of biofuels policies and markets across the EU-27 and the UK. Brussels: ePURE; 2020. 70 p. URL: <https://www.epure.org/wp-content/uploads/2021/01/201104-DEF-REP-Overview-of-biofuels-policies-and-markets-across-the-EU-Nov.-2020.pdf> (accessed on 05.10.2022).
14. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council, Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council and Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652 // EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0557> (accessed on 05.10.2022).

15. Delivering the European green deal. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en (accessed on 05.10.2022).
16. Flach B., Lieberz S., Bolla S. European Union (EU) biofuels annual 2022. Report No.: E42022-0048. Washington, DC: USDA; 2022. 44 p. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_The%20Hague_European%20Union_E42022-0048.pdf (accessed on 05.10.2022).
17. Implementation of bioenergy in Brazil – 2021 update. Paris: IEA Bioenergy; 2021. 15 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_Brazil_final.pdf (accessed on 05.10.2022).
18. Kramer D. Whatever happened to cellulosic ethanol? *Physics Today*. 2022;75(7):23-24. DOI: 10.1063/PT.3.5036
19. Barros S. Brazil biofuels annual 2022. Report No.: BR2022-0047. Washington, DC: USDA; 2022. 42 p. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_BR2022-0047.pdf (accessed on 05.10.2022).
20. Ebadian M., Saddler J., McMillan J.D. Implementation agendas: Compare-and-contrast transport biofuels policies (2019-2021 update). IEA Bioenergy Task 39. Paris: IEA Bioenergy; 2022. 312 p. URL: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/04/Task-39-Implementation-Agendas-Report-2019-2021-Update.pdf> (accessed on 05.10.2022).
21. Second-generation sugarcane bioenergy & biochemicals: Advanced low-carbon fuels for transport and industry. Brasilia: Center for Strategic Studies and Management; 2017. 128 p. URL: https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Ethanol2G_web.pdf (accessed on 05.10.2022).
22. Fuel of the future programme. IEA. 22 Mar., 2022. URL: <https://www.iea.org/policies/13469-fuel-of-the-future-programme> (accessed on 05.10.2022).
23. Cristina Garcia T., Durand-Morat A., Yang W., Popp M., Schreckhise W. Consumers' willingness to pay for second-generation ethanol in Brazil. *Energy Policy*. 2022;161:112729. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112729
24. Overview for renewable fuel standard. Environmental Protection Agency (EPA). Feb. 22, 2022. URL: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard> (accessed on 05.10.2022).
25. Biorefinery locations map. RFA. URL: <https://ethanolrfa.org/resources/ethanol-biorefinery-locations> (accessed on 05.10.2022).
26. Renewable fuel standard (RFS) program: RFS annual rules. *Federal Register*. 2022;87(126):72436-72501. URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2022-07-01/pdf/2022-12376.pdf> (accessed on 05.10.2022).
27. Cellulosic waiver credit price calculation for 2021 and 2022. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2022. 5 p. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1015J63.pdf> (accessed on 05.10.2022).
28. Federal and state laws and incentives. Alternative Fuels Data Center. U.S. Department of Energy. URL: <https://afdc.energy.gov/laws> (accessed on 05.10.2022).
29. Erntin A., Smolker R. Dead end road: The false promises of cellulosic biofuels. London: Biofuelwatch; 2018. 44 p. URL: <http://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2018/09/Dead-End-Road-The-false-promises-of-cellulosic-biofuels.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
30. Implementation of bioenergy in the United States – 2021 update. Paris: IEA Bioenergy; 2021. 21 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_USA_final.pdf (accessed on 05.10.2022).
31. Ovchinnikov O.G. The influence of science and technical progress on food security (a case study of bioenergy development in the U.S. agriculture). *SShA i Kanada: ekonomika, politika, kul'tura = USA and Canada: Economics, Politics, Culture*. 2017;(1):54-74. (In Russ.).
32. McGrath C. China biofuels annual 2022. Report No.: CH2022-0089. Washington, DC: USDA; 2022. 20 p. URL: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Beijing_China%20-%20People%27s%20Republic%20of_CH2022-0089.pdf (accessed on 05.10.2022).
33. Strategy for the socio-economic development of the Russian Federation with a low level of greenhouse gas emissions until 2050. Approved by order of the Government of the Russian Federation of October 29, 2021 No. 3052-r. Official. website of the Government of the Russian Federation. URL: <http://government.ru/docs/all/137358/> (accessed on 05.10.2022). (In Russ.).
34. On amendments to the Federal law “On state regulation of the production and turnover of ethyl alcohol, alcoholic products and alcohol-containing products and on limiting the consumption (drinking) of alcoholic products.” Federal Law No. 448-FZ of November 28, 2018. URL: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/55799.html/> (accessed on 05.10.2022).

35. Sukhodolov A.P., Khamataev V.A. Stages of development of the domestic hydrolysis industry. *Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy*. 2009;(3):49-52. (In Russ.).
36. Sidak M.V. Long-term trends in the market of raw materials in Russia for the production of bioethanol. *Sakharnaya svekla*. 2021;(5):13-18. (In Russ.). DOI: 10.25802/SB.2021.92.25.002

Сведения об авторе

Максим Сергеевич Головин

выпускник аспирантуры 2018 г.

Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

SPIN-код: 1470-5594

AuthorID: 1046225

Поступила в редакцию 28.10.2022
Прошла рецензирование 16.11.2022
Подписана в печать 23.11.2022

Information about Author

Maksim S. Golovin

PhD graduate 2018

Lomonosov Moscow State University

1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

SPIN-code: 1470-5594

e-Library AuthorID: 1046225

Received 28.10.2022
Revised 16.11.2022
Accepted 23.11.2022

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest
related to the publication of this article.