

## Макрорегион Сибирь

Научная статья  
УДК 332.1:330.15  
doi: 10.17223/19988648/58/6

### Перспективы развития нефтяной отрасли Томской области в свете климатической повестки

Ирина Валерьевна Шарф

*Томский политехнический университет, Томск, Россия, irina\_sharf@mail.ru*

**Аннотация.** Стремление мирового сообщества к устойчивому развитию, предполагающее сдерживание климатических изменений под действием парниковых газов ориентирует на диверсификацию энергетических источников с акцентированием на возобновляемые. Результативность реализации политики декарбонизации в Европейском союзе обусловила внедрение инструментов воздействия на производителей других стран посредством трансграничного углеродного налога на углеродосодержащую импортную продукцию, что вызвало пересмотр стратегических программ нефтедобывающих стран на федеральном и субнациональном уровне. Предметом исследования является нефтегазовый комплекс Томской области. Целью исследования стал анализ стратегических перспектив развития нефтяной отрасли Томской области в условиях климатической повестки с учетом энергоперехода. Гипотеза исследования предполагает, что в условиях макроэкономической нестабильности необходима реализация проектов, которые являются наименее затратными и обладают максимальным мультипликативным эффектом. Методика исследования основана на применении эмпирико-статистических методов анализа возможных направлений развития в соответствии с задачами климатической повестки. Результаты исследования показывают, что востребованными стратегическими направлениями в среднесрочной перспективе могут быть связанные: а) с совершенствованием существующих технологических процессов; б) с производством альтернативных источников энергии; в) со снижением углеродного следа. По результатам исследования наиболее адекватными нынешним условиям, учитывающим макроэкономическую ситуацию, негативные тенденции развития нефтегазовой отрасли, природоресурсный, промышленный и научно-образовательный потенциал Томской области, существующие барьеры экономики-организационного и институционального характера, являются модернизация нефтеперерабатывающих заводов с целью расширения объемов выпускаемой продукции и производства водорода, лесоклиматические проекты с целью поглощения углекислого газа и совершенствование технологических процессов, снижающих выбросы парниковых газов. Проекты, связанные с улавливанием и хранением углекислого газа, несмотря на состояние недр разрабатываемых месторождений, не обладают инвестиционной привлекательностью. Результаты исследования могут быть использованы на региональном уровне при формировании стратегических программ и в управлении нефтегазовым комплексом.

**Ключевые слова:** климатическая повестка, нефть, газ, добыча, нефтеперерабатывающий завод, энергопереход, возобновляемые источники энергии, углерод-

ный след, трансграничный углеродный налог, водородная энергетика, лесоклиматический проект

**Для цитирования:** Шарф И.В. Перспективы развития нефтяной отрасли Томской области в свете климатической повестки // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2022. № 58. С. 88–108. doi: 10.17223/19988648/58/6

## **Siberia macro-region**

Original article

### **Development prospects of the oil industry in Tomsk Oblast in view of the climate agenda**

**Irina V. Sharf**

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk Russian Federation,  
irina\_sharf@mail.ru*

**Abstract.** The commitment of international community to sustainable development implying the control of climate change due to the effect of greenhouse gases is aimed at diversification of energy sources with the focus on renewable ones. The effectiveness of decarbonization policy in the European Union has led to the introduction of enforcement tools for producers from other countries using the transboundary carbon tax on carbon-contained imported products, which resulted in a revision of strategic programmes in oil-producing countries at federal and subnational levels. The research is focused on oil-and-gas industry of Tomsk Oblast. The aim of the research is to analyse strategic perspectives of the socioeconomic development in Tomsk Oblast under the condition of climate agenda taking into account transition to renewable energy sources. The research hypothesis implies that in the condition of macroeconomic instability one needs to implement projects that are the least costly and produce a maximum multiplied effect. The research methodology is based on using empirical-statistical analytical methods for an analysis of possible development directions in accordance with issues of climate agenda. The research results have shown that essential strategic guidelines in the mid-term perspective can be as follows: (a) improvement of existing technological processes; (b) production of alternative energy sources; (c) reduction of carbon footprint. According to the research results, the most effective measure fitting the current condition of the macroeconomic situation negative tendencies of oil industry development, the nature-resource, industrial and research-educational potential of Tomsk Oblast, the existing barriers of an economic-management and institutional character is modernization of refineries to expand the range of products and hydrogen production as well as forest projects designed to absorb carbon dioxide and improve technological processes decreasing greenhouse gas emissions. The projects related to carbon capture and storage are not appealing for investment despite the subsoil condition of developed fields. The research results can be applied at the regional level when developing strategic programmes and managing petroleum industries.

**Keywords:** climate agenda, oil, gas, production, refinery, energy transition, renewable energy sources, carbon footprint, transboundary carbon tax, hydrogen energy, forest project

**For citation:** Sharf, I.V. (2022) Development prospects of the oil industry in Tomsk Oblast in view of the climate agenda. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Tomsk State University Journal of Economics*. 58. pp. 88–108. (In Russian). doi: 10.17223/19988648/58/6

## Введение

Одним из решений, сглаживающих остроту климатической повестки на современном этапе развития человечества, обусловленной безуспешностью сдерживать глобальное потепление в результате производственной деятельности, является диверсификация энергетических источников.

Энергопереход видится следствием решений государств, который позволит реализовать в долгосрочной перспективе низкоуглеродную экономику, лежащую в основе концепции устойчивого развития, заложенной в 1972 г. [1], когда впервые была обозначена необходимость наиболее эффективного развития мировых энергетических ресурсов с учетом новых технологий производства и экологических последствий. В Декларации ООН 1992 г. защита окружающей среды выступает неотъемлемой частью процесса развития мирового сообщества. В Лиссабонской стратегии 2007 г. [2] впервые представлены целевые индикаторы для решения проблем изменения климата, а именно доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) должна была быть увеличена до 22% от общего потребления электроэнергии к 2010 г., что ориентировало высокоразвитые страны Европы и Америки на внедрение разнообразных институциональных мер поддержки производства электроэнергии посредством ВИЭ в форме субсидий, налоговых льгот, кредитов, зеленых сертификатов и других инструментов как на федеральном, так и на субнациональном уровне [3].

Позднее значения индикаторов увеличились, нарастала активность во внедрении ВИЭ в энергосистему стран. По данным IRENA, в 2019 г. в структуре возобновляемой энергетики 61% принадлежит гидроэнергетике, 20% – ветряной, 10% – солнечной, 8% – биоэнергии и <1% – геотермальной [4]. При этом по совокупности производимой энергии за счет всех видов ВИЭ с 2005 г. уверенным лидером является Китай, обгоняя попеременно Бразилию и США в разные периоды. Среди европейских государств первенствует Германия. Значительное снижение издержек производства электроэнергии за счет технико-технологического совершенствования с 2010 по 2019 г. морской и наземной ветроэнергетики на 29 и 39% соответственно, солнечных фотоэлектрических установок и ее концентрации на 82 и 47% соответственно позволило обеспечить конкурентную стоимость, варьирующуюся в диапазоне 0,053–0,68 \$/кВт·ч [5]. В то же время снижение себестоимости за счет других видов ВИЭ является незначительным. Исследование, проведенное А. Anastasiou и Р. Marietta по ряду европейских государств в отношении достижения целей, поставленных к 2020 г.,

показало, что влияние институциональных факторов сильнее на реализацию поставленных задач, чем макроэкономических, что является определенной основой для Евросоюза использовать инструменты финансово-налогового регулирования в торговых отношениях с другими странами для достижения углеродной нейтральности [6].

Особенностью современного этапа является ужесточение требований к продукции, производимой с использованием ископаемого топлива, что согласуется с политикой углеродной нейтральности, определяемой Парижским соглашением как «достижение сбалансированности между антропогенными выбросами из источников и абсорбцией поглотителями парниковых газов во второй половине этого века». План по климату до 2030 г. (The 2030 Climate Target Plan) [7] нацеливает на сокращение выбросов парниковых газов как минимум на 55% по сравнению с уровнем 1990 г. к 2030 г., что будет способствовать стабилизации повышения глобальной температуры на уровне значительно ниже, чем 2°C, а именно 1,5°C. Вступление в силу трансграничного углеродного налога для импортируемой продукции призвано усилить активность стран в модернизации энергосистемы с акцентом на ВИЭ в разработке и внедрении технологий сокращения выбросов парниковых газов и энергопотребления при производстве продукции, технологий улавливания и хранения CO<sub>2</sub> и его природного поглощения [8].

Важно отметить Указ Президента РФ № 666 от 4.11.2020 г., согласно которому промышленные компании ориентированы на 70%-ное сокращение к 2030 г. выбросов парниковых газов относительно уровня 1990 г. [9]. Согласно проекту Стратегии долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. выделяется несколько сценариев с учетом выбросов и поглощений в лесном хозяйстве и при землепользовании: без мер государственной поддержки, инерционный, базовый и интенсивный, в которых определяются параметры выбросов в диапазоне 76–64% к 2030 г. и 90–52% к 2050 г. соответственно [10].

Еще одним аспектом реализации политики углеродной нейтральности является снижение запасов ископаемого топлива, которые не будут вовлечены в разработку с целью удержания повышения глобальной температуры до уровня 1,5 °C, что составит, по оценкам D. Welsby, J. Price, S. Pye, P. Ekins, 58% для нефти, 59% – газа и 89% – угля к 2050 г. от объема запасов 2018 г. [11]. Как следствие, монетизация резервов УВ, в первую очередь для ключевых игроков на мировом рынке УВ (основных держателей запасов) и потенциальных инвесторов, является долгоиграющим актуальным вопросом.

Таким образом, трансформация энергообеспечения мировой экономики требует переосмысления не только стратегических документов социально-экономического развития России, но и регионов, где ключевую роль в формировании ВРП играет разработка месторождений УВ.

Целью настоящего исследования является анализ стратегических перспектив развития нефтяной отрасли, а следовательно, социально-экономического развития Томской области в условиях климатической по-

вестки с учетом энергоперехода. Гипотеза исследования предполагает, что в условиях макроэкономической нестабильности необходима реализация проектов, которые наименее затратны и обладают максимальным мультипликативным эффектом с учетом особенностей и состояния природоресурсного потенциала и промышленности.

## Материалы и методы

Информационной базой исследования послужили научно-техническая литература, официальные данные министерств и ведомств, государственных структур, международных организаций, а также законодательные акты, стратегические документы федерального и регионального уровня, годовые отчеты предприятий нефтегазовой отрасли.

## Результаты

Одним из драйверов социально-экономического развития Томской области является нефтегазовая отрасль, деятельность предприятий которой обеспечивает формирование 30% ВРП и более 40% инвестиций [12], состояние отрасли в 2020 г. характеризовалось продолжающимся падением добычи нефти до 6,8 млн т [13], что на 57,9% меньше максимального уровня 2012 г. за всю историю добычи в регионе (11,745 млн т) и на 22,1% ниже уровня 2019 г. Как следствие, ВРП на 8,2% ниже по сравнению с 2019 г.

Можно выделить несколько факторов негативной тенденции.

1. Количественные и качественные характеристики сырьевой базы УВ, сосредоточенных на 140 месторождениях, из которых 109 – нефтяных, 21 – нефтегазоконденсатное и 10 – газоконденсатных (табл. 1).

Таблица 1. Сырьевая база углеводородного сырья Томской области по состоянию на 01.01.2020 г.

Вид УВ	Текущие запасы		Текущие ресурсы		
	A+B <sub>1</sub> +C <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> +C <sub>2</sub>	Д <sub>0</sub>	Д <sub>1</sub> +Д <sub>2</sub>	Д <sub>0</sub> +Д <sub>1</sub> +Д <sub>2</sub>
Нефть, млн т	336,9	121,6	350,0	428,2	778,2
Растворенный газ, млрд м <sup>3</sup>	40,1	14,0	0	1,2	1,2
Свободный газ, млрд м <sup>3</sup>	186,9	37,7	20,8	333,6	354,4
Конденсат, млн т	22,6	5,5	2,0	15,1	17,1

Источник: Доклад об экологической ситуации в Томской области в 2020 году. URL: [https://ogbu.green.tsu.ru/?page\\_id=1456](https://ogbu.green.tsu.ru/?page_id=1456) (дата обращения: 20.10.2021).

Месторождения преимущественно средние, мелкие и очень мелкие, на которых аккумулировано 154 млн т извлекаемых запасов. К категории крупных относятся Крапивинское нефтяное месторождение с текущими

извлекаемыми запасами нефти 35 млн т, Казанское нефтегазоконденсатное месторождение – 32 млн т, Советское и Первомайское нефтяные месторождения с начальными разведанными запасами 325 и 125 млн т соответственно, Лугинецкое нефтегазоконденсатное месторождение – 128 млн т. Кроме того, увеличивается доля трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) согласно критериям НК РФ, в частности, ресурсы баженовской свиты оценены в 37,6 млн т. Залежи в средне- и нижнеюрских горизонтах Ю<sub>2</sub>–Ю<sub>15</sub> тюменской свиты обнаружены на 16 месторождениях [14, 15]. В структуре ресурсной базы УВ Томской области преобладает нефть. Ресурсы природного газа несопоставимы с запасами месторождений северной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП) в силу геологической истории формирования залежей. Так, запасы категории А+В<sub>1</sub>+С<sub>1</sub> оцениваются в 201,3 млрд м<sup>3</sup>, запасы категории В<sub>2</sub>+С<sub>2</sub> – в 44,3 млрд м<sup>3</sup>. Проведенная оценка запасов растворенного газа на 118 месторождениях по категориям следующая: запасы категории А+В<sub>1</sub> – 37,16 млрд м<sup>3</sup>, С<sub>1</sub> – 3,633 млрд м<sup>3</sup>, В<sub>2</sub> – 7,621 млрд м<sup>3</sup>, С<sub>2</sub> – 6,344 млрд м<sup>3</sup>.

2. Выработанность разбуренных запасов нефти составляет 53,55%, природного газа – 43%. Основные разрабатываемые месторождения нефти находятся на поздней стадии и, как следствие, характеризуются высокой обводненностью скважинной продукции, превышающей 90%, что ставит задачу выделения новых поисковых зон нефтегазоаккумуляции [16].

3. Соглашения с ОПЕК, согласно которым страны договорились сократить объемы добычи нефти на два года – первоначально на 9,7 млн барр/сут. в течение с мая по июль 2020 г., а затем до 2021 г. на 7,7 барр/сут, привели к значительному сокращению добычи, так как добываемая нефть Томской области относится преимущественно к нельготируемой по налогу на добычу полезных ископаемых (НДПИ) в силу своих геолого-промысловых характеристик. Доля нефти, к которой применимы льготы по НДПИ, составляет менее 50% [17].

4. Динамика воспроизводственных процессов стала характеризоваться положительным трендом после длительной негативной динамики в результате открытия в 2019–2020 гг. 2 месторождений и 2 залежей уже на открытых месторождениях, несмотря на сокращение инвестиций в геолого-разведочные работы (ГРР), а следовательно, объемов поисково-разведочного бурения (2019 г. – 33,1 тыс. м, 2020 г. – 20,2 тыс. м). Значительный прирост запасов обусловлен также их переоценкой, за счет чего в 2019 г. было приращено 5,7 млн т из 11,6 млн т, в 2020 г. – 2,9 млн т из 11,4 млн т. Но поддержание и рост добычи нефти требуют расширения инвестиций в ГРР, что в свете климатической повестки с учетом соглашений с ОПЕК может стать серьезной задачей региональных властей в силу нефтезависимости экономики области.

5. Продажа ПАО «Роснефть» своей 50%-ной доли в активах компании ОАО «Томскнефть ВНК», что стало следствием реализации программы по оптимизации портфеля активов на основе таких критериев, как экономическая эффективность и императив Стратегии, которым не соответствовали

зрелые и обводненные активы ОАО «Томскнефть» ВНК с высоким уровнем углеродного следа.

Таким образом, возникает ряд вопросов относительно развития нефтегазовой отрасли Томской области в современных условиях, так как неясны перспективы наращивания добычи нефти и газа, когда, с одной стороны, низкоуглеродная экономика является ключевым ориентиром, в первую очередь стран организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) – основного потребителя российских УВ, а с другой – обозначенные выше тенденции являются определенным сдерживающим фактором.

Можно выделить следующие основные направления, которые могут быть реализованы в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе, что может стать фундаментом оптимистичного сценария развития нефтегазовой отрасли, предполагающего увеличение добычи УВ и выход на уровень стабильной добычи и сохранение локомотивной роли НГК, а следовательно, социально-экономического развития Томской области. Это направления, связанные: а) с совершенствованием существующих технологических процессов; б) с производством альтернативных источников энергии; в) со снижением углеродного следа.

1. Модернизация нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) с внедрением установок вторичной переработки с целью сглаживания зависимости от волатильности цен на УВ на мировом рынке и реализации стратегической задачи по развитию нефтехимического кластера региона, структуру которого составляют производство нефтепродуктов, химическое производство без фармацевтической продукции и производство резиновых и пластмассовых изделий. На трех НПЗ (ООО «Томскнефтепереработка», Александровский и Стрежевской НПЗ) нефтепродукты производятся путём первичной переработки нефти, а на ООО «Томскнефтегазпереработка» – на основе переработки легкого газового конденсата. Суммарный объем перерабатываемой нефти превышает 1 млн т в год [18]. На других предприятиях нефтехимического кластера сырьем является продукция переработки, поставляемая из других регионов.

Проектная производственная мощность ООО «Томскнефтепереработка» 1 млн т сырья в год, которая согласно Стратегии развития нефтехимического кластера Томской области на период до 2030 г. должна была быть увеличена в 4 раза, а глубина переработки планировалась на уровне 95%. Однако в 2016 г. началась конкурсная процедура банкротства [19].

На Александровском НПЗ, владельцами которого являются частные лица, перерабатывается более 60 тыс. т сырой нефти в год путем термического крекинга в ректификационных колоннах с выходом бензина, дизельного топлива и мазута. Исходным сырьем служит нефть месторождений Александровского района. Перспективы расширения производственной мощности возможны за счет активного сотрудничества и реализации инвестпроектов по строительству дороги с целью ускорения поставки сырья с компанией Petronetf, которая совместно с Agawak Energy разрабатывает Ледовое и Черемшанское месторождения, а также на паритетных долевых

паях с Oil India владеет ООО «Стимул-Т». Последнему принадлежит Тунгольский участок, в пределах которого расположены Линейное, Тунгольское, Западно-Линейное, Кондрашевское, Арбузовское, Сибкраевское и Северно-Варьяхское месторождения. Стрежевской НПЗ, владельцем которого является ОАО «Томскнефть» ВНК, перерабатывает около 320 тыс. т нефти в год, поставляемой с месторождений, расположенных в регионе и соседнем ХМАО-Югра. Он является единственным заводом Томской области, где после модернизации выпускается бензин, соответствующий 4–5-му экологичному классу. Положительная динамика финансовых результатов деятельности Александровского НПЗ сменилась сокращением на 8,85 % выручки и 17,65 чистой прибыли в 2020 г. под влиянием макроэкономической ситуации (табл. 2). Однако при этом НПЗ нарастил активы и капитал на 18,81 и 17,85% соответственно. Аналогичные тенденции характерны для Стрежевского НПЗ, где в 2020 г. выручка упала на 10,37%, а чистая прибыль – на 94,94 %. При этом динамика финансовых показателей Стрежевского НПЗ говорит о близости к банкротному состоянию по результатам деятельности за 2020 г.

**Таблица 2. Динамика финансовых результатов деятельности нефтегазоперерабатывающих заводов Томской области с 2011 по 2019 г., %**

	Выручка	Чистая прибыль	Капитал и резервы	Активы
Александровский НПЗ	+235,9	141,3	123,58	+292,0
Стрежевской НПЗ	+57,63	+20,37	+28,26	+102,72
Газпром метанол	+227	+275,77	+256,01	+238,77

*Источник:* Годовые отчеты ООО «Александровский НПЗ», Стрежевской НПЗ, ООО «Газпром метанол».

ООО «Томскнефтегазпереработка» принадлежит ОАО «Востокгазпром» (97%) и ОАО «Томскгазпром» (3%), которому принадлежат Мыльджинское и Северо-Васюганское газоконденсатные месторождения, откуда поставляется газовый конденсат. При этом финансовые результаты являются более негативными, так как выручка от реализации товаров отсутствует с 2017 г., идет продажа активов. Чистая прибыль сократилась с 759,18 млн руб. в 2011 г. до 28,24 млн руб. в 2020 г. Аналогично в отношении капитала и резервов: 426,77 и 26,32 млн руб. соответственно.

Другим стопроцентным активом ОАО «Востокгазпром» является ООО «Газпром метанол» (ранее «Сибметакхим»), единственный производитель метанола за Уралом, что обуславливает обширную базу потребителей. Снижение выручки и прибыли наблюдалось в 2016 г. в период масштабной реконструкции, связанной с вводом установок по производству карбамидоформальдегидного концентрата и малометанольного 37%-ного формалина суммарной мощностью 120 тыс. т/год, а также с 2018 г. Вместе с тем наблюдается положительная динамика изменения ключевых финансовых показателей.

Важным элементом нефтехимического кластера является ОАО «Томскнефтехим», принадлежащий ПАО «СИБУР холдинг», сырьем которого служит бензин, необходимый для пиролиза, сжиженные углеводородные газы, поставляемые с Южно-Балыцкого газоперерабатывающего завода (ГПЗ) железнодорожным транспортом, что лежит в основе растущих финансовых результатов деятельности: росте выручки за аналогичный период (+62,68%), чистой прибыли практически на несколько порядков с 9,19 млн руб. (2011 г.) до 1,9 млрд руб. (2019 г.), активов (+173,7%). Незначительное сокращение наблюдалось в 2020 г. вследствие локальной текущей модернизации отдельных участков производства и внедрения цифровых технологий, причем ранее уже была проведена масштабная реконструкция производства полипропилена и полиэтилена.

Таким образом, снижение добычи нефти на месторождениях Томской области повлекло ухудшение финансовых показателей томских НПЗ, в отличие от ключевого элемента нефтехимического кластера – ОАО «Томскнефтехим», использующего внешние поставки сырья. Стабильная добыча газа на месторождениях группы ОАО «Томскгазпром» является основой загрузки перерабатывающих мощностей.

Перспективы развития томских НПЗ определяют потребности в транспортных углеводородных топливах. Существуют различные прогнозы в части спроса на них, основанные на проводимой политике и темпах экономического роста стран-потребителей. Так, с одной стороны, прогнозируется снижение спроса на бензин и дизельное топливо в европейских и североамериканских государствах в связи с ориентацией на улучшение экологической обстановки и рост доли электротранспорта. С другой стороны, по оценкам ПАО «ЛУКОЙЛ», наоборот, ожидается растущий спрос на углеводородные транспортные топлива в среднесрочной перспективе, главным образом в странах АТР.

Развитие нефтепереработки в Томской области позволит расширить выгоды от добычи УВ, в том числе для бюджета региона, так как суммы от уплаты НДС в части нефти и газа, имеющего значимую долю в налоговой нагрузке нефтегазодобывающих предприятий, полностью поступают в федеральный бюджет. По мнению В.А. Крюкова, строительство в области нового НПЗ является структурным элементом модели развития региона, позволяющим решить задачи рационального недропользования, экологического, а также генерировать инновационные решения техническим и научным сообществом [20].

2. Развитие водородной энергетики посредством модернизации НПЗ с целью производства водорода в качестве энергоресурса для решения, в том числе задач по декарбонизации экономики и проблем энергообеспечения удаленных территорий области.

Выделяется несколько видов водорода, в зависимости от способа его получения. «Серый» водород получается посредством паровой конверсии (риформинга) метана либо в результате переработки бензина или остатков после первичной переработки нефти. Недостатком данных технологий яв-

ляются выбросы  $\text{CO}_2$ , улавливание и захоронение которого позволит получить «голубой» водород. Электролизом воды генерируется «зеленый» водород. Если для проведения данной реакции используется атомная энергия, то получается «желтый» водород. «Бирюзовый» водород получают в результате термической реакции – пиролиза метана, продуктом которой является твердый углерод, имеющий широкое применение в химической промышленности. Путем газификации бурого угля производится «коричневый» водород, а также  $\text{CO}_2$ , окись углерода (CO), метан, этилен и другие газы, что определяет высокий уровень экологических последствий данной технологии. Биоводород является продуктом микробной конверсии (деятельности водородобразующих микроорганизмов), что перспективно в плане решения проблемы переработки сельскохозяйственных отходов. В целом энергозатратность на получение 1 кг «зеленого» водорода составляет примерно 55–60 кВт·ч, «серого» и «коричневого» – 0,7–0,9 кВт·ч [21].

В мировом производстве водорода доля конверсии природного газа и ПНГ составляет ~50%, риформинга нефти и жидких нефтепродуктов – 30%, газификации угля – 18%, электролиза воды – 4%, что эквивалентно  $\leq 1\%$  мировых поставок энергии (45–65 млн т) [22].

В проекте Стратегии социально-экономического развития Томской области на период до 2030 года (актуализация 2021 года) потенциал водородной энергетики связывается с производством «серого и зеленого водорода» [18]. Производство «серого» водорода возможно на НПЗ посредством различных технологий, в частности каталитического риформинга бензина и глубокой переработки остатков после первичной переработки нефти [23]. В этом случае необходим полный технологический комплекс с улавливанием и захоронением  $\text{CO}_2$ . Модернизация НПЗ может стать продолжением доформирования нефтехимического кластера.

Водородная энергетика рассматривается в качестве одного из основных направлений стратегического развития ТЭК, так как водород является ресурсом, производство и использование которого возможно без сопровождения выбросами  $\text{CO}_2$  [24]. Водородная энергетика для Томской области имеет важное стратегическое значение, так как, с одной стороны, решается проблема снижения добычи УВ в силу низкой рентабельности разработки высоко выработанных и обводненных месторождений в условиях ценовой динамики на нефть, существующей системы налогового льготирования по критериям физико-химических свойств нефти месторождений и коллекторских свойств продуктивных пластов, а с другой – проблема использования мощностей предприятий г. Томска [16]. Перспективным видится производство «голубого» и «бирюзового» водорода, а также «желтого» в силу строительства атомного реактора в г. Северск мощностью 300 МВт. Однако в настоящее время технологии промышленного производства водорода находятся на стадии разработки. Так, на базе Томского политехнического университета создан Консорциум водородных технологий, объединяющий вузы, НИИ и отечественные компании, задачей которого является не только координация стратегий и исследований в области производ-

ства, транспортировки, материалов, преобразования энергии водорода в электрическую, использования в промышленности и быту, но и выбор площадок для пилотных проектов с последующим тиражированием технологических решений. Росатом нацелен на развитие собственных конкурентоспособных технологий в сфере водородной энергетики. Одним из пилотных проектов Росатома является создание водородного кластера на о. Сахалин с целью экспорта водорода в Японию и в страны АТР [25].

3. Коммерциализация проектов по хранению углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), который наряду с метаном ( $\text{CH}_4$ ) является наиболее агрессивным по силе воздействия на изменение климата, что позволит обеспечить достижение углеродной нейтральности или чистого углеродного следа. Томская область относится к перспективным регионам для целей закачки  $\text{CO}_2$  в истощенные нефтеносные пласты и, наоборот, неперспективна для целей улавливания [26]. Научным сообществом выделяется возможность прямого улавливания углерода из воздуха и его хранение (Direct Air Capture with Carbon Storage, DACCS) на основе использования химических процессов и последующее захоронение в геологических структурах [27]. Разработанные установки компаний Climeworks (Швейцария) и Carbon Engineering (Канада) коммерчески не реализованы в силу экономической неэффективности.

4. Использование  $\text{CO}_2$  в качестве компонента при применении методов увеличения нефтеотдачи пласта (МУН). Разработка ухудшающихся по количественным и качественным характеристикам запасов УВ влечет необходимость в газовых МУН, применение которых рентабельно в современных макроэкономических условиях.  $\text{CO}_2$  может закачиваться в плотные коллекторы с высокой трещиноватостью, увеличивая подвижность и снижая вязкость нефти в пласте [28]. РТ-условия влияют на смешиваемость  $\text{CO}_2$  и нефти. Для извлечения легкой нефти достаточно умеренных температуры и давления, в то время как для полного растворения  $\text{CO}_2$  необходимо увеличение этих параметров выше критических ( $P = 7,38$  МПа,  $T = 305$  К), так как тогда  $\text{CO}_2$  образует фазу, плотность которой близка к плотности жидкости, но ее вязкость остается довольно низкой.  $\text{CO}_2$ , смешиваясь с водой, образует карбонатную кислоту (водогазовое воздействие), что эффективно в качестве МУН в отношении глинистых и карбонатных пород [29]. Растворенный в воде  $\text{CO}_2$  обладает способностью разрывать пленки тяжелой остаточной нефти на поверхности горной породы пласта и усиливать их подвижность, способствуя нефтеизвлечению, на которое влияет также вязкость воды, увеличивающаяся при росте концентрации  $\text{CO}_2$ , что наблюдается в определенном диапазоне РТ-условий и минерализации воды.

Применение  $\text{CO}_2$  более экономично, чем использование других газов, в частности азота, пропана или бутана. Практика использования  $\text{CO}_2$  присутствует на месторождениях США, Канады и других стран. Так, на месторождениях Weyburn and Midale (Канада)  $\text{CO}_2$  поступал по трубопроводу протяженностью 340 км в компримированном состоянии с предприятия Veulah

(США), где на установке газификации угля улавливалось 8 500 т  $\text{CO}_2$ /сут, что позволило увеличить нефтеизвлечение с 10 тыс. бар/сут до 30 тыс. бар/сут. При этом использованный газ хранится в истощенных пластах двух месторождений в объеме примерно 40 млн т (на 2019 г.) [30], а объем возможного резервуара хранения ежегодно увеличивается на 2,8 млн т. Растущая востребованность в данном МУН определяется не только геологическими свойствами продуктивных пластов, но и его эффективностью. Согласно исследованиям Na Zhang, дополнительная добыча нефти по разным месторождениям варьировала в диапазоне 6–12,5%, а увеличение дебита скважины доходило до 6,6–51 бар/сут [31]. По оценкам специалистов, закачка диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) на месторождениях Волго-Уральской НГП позволит добыть еще 123 млн т нефти.

Потенциал использования  $\text{CO}_2$  в России широк с учетом выработанности и состояния разработки месторождений. В России закачка  $\text{CO}_2$  экспериментальным путем производилась на Сергеевском, Козловском, Радаевском месторождениях в Самарской области. Так, на Радаевском месторождении в 1984 г. эксперимент завершился в связи с прорывами углекислотопровода, несмотря на эффективность: дополнительная добыча составила 218 тыс. т при среднем удельном потреблении  $\text{CO}_2$  в 0,28 т/т [20, 32]. На Козловском и Сергеевском месторождениях дополнительная добыча составила 12,6 и 17,7 тыс. т соответственно, при удельном потреблении  $\text{CO}_2$  0,125 и 0,23 т/т соответственно [33].

Возможность применения метода ограничивается наличием необходимого объема  $\text{CO}_2$ , как выделенного естественным природным путём, так и в результате химического производства, а также возможными способами доставки из очень удаленных промышленных центров. Другими негативными моментами применения данного МУН являются: потребность в особом коррозионностойком оборудовании для хранения, транспортировки и нагнетания в пласт  $\text{CO}_2$ ; экстракция легких УВ в случае неполного смешивания с нефтью, что ведет к малоподвижности нефти; образование кристаллогидратов при насыщении  $\text{CO}_2$  парами воды.

Для полноты картины по экономической эффективности отметим, что для извлечения дополнительного барреля нефти, в зависимости от геологических характеристик нефтеносного пласта, необходимо 300–600 кг  $\text{CO}_2$ . Хотя в настоящее время в России использование  $\text{CO}_2$ -МУН не практикуется, Е.Н. Ивановым обоснована эффективность применения широкой фракции УВ (ШФЛУ) на Крапивинском и Первомайском месторождениях с учетом характеристик коллекторов [34].

5. Биоэнергетика с улавливанием и хранением  $\text{CO}_2$  (Bioenergy with carbon capture and storage, BECCS), что предполагает получение энергии за счет сжигания биомассы – органического материала с последующим улавливанием и хранением  $\text{CO}_2$  в геологических структурах [35]. Данный метод мало перспективен для Томской области в силу приуроченности к территории с континентальным климатом и масштабом ведения сельскохозяйственной деятельности. Несмотря на то, что биоэнергетика уже широко

используется в мире, вторая часть цикла (улавливание CO<sub>2</sub>) практически не реализована в силу экономической нерентабельности, за исключением нескольких пилотных проектов в компаниях Archer Daniels Midland (США), Drax (Великобритания) и Toshiba (Япония).

Важной задачей нефтегазового сектора в свете климатической повестки является минимизация углеродного следа – общего объема выбросов и поглощений парниковых газов, следовательно, востребованы следующие проекты:

1. Лесоклиматические проекты, анонсированные нефтегазовыми компаниями для реализации механизмов природного поглощения углерода. Земли лесного фонда, а также земли других категорий, занятые лесными насаждениями, занимают 28,7451 млн га (>91,5% площади Томской области, 31,4 млн га), из которых хвойные насаждения составляют 53,6%, мягколиственные насаждения – 46,4%, которые распространены и на заболоченных территориях. Общая площадь болот без учета заболоченных земель составляет 116 153 км<sup>2</sup> или 37% территории области [36]. Критериями поглощающей способности лесов являются: возраст (осреднение возраста – один из параметров расчета поглощающей способности по разным методикам; наиболее полезным в свете углеродной нейтральности является возраст 15–60 лет), породный состав лесов (хвойные деревья обладают большим потенциалом поглощения), климат (тропические леса порождают огромный прирост биомассы, которая разлагается в результате деятельности микроорганизмов, что ведет к нулевому балансу – сколько поглотили леса, столько же и выбросили в атмосферу углерода). Повысить поглотительную способность лесов возможно за счет сокращения обезлесения, управляемого ухода за лесами и проведения посадок на территориях, на которых происходили лесные пожары, что значимо с учетом характеристик лесного массива Томской области, в том числе и доли средневозрастного леса (22,4%).

2. Совершенствование процесса добычи нефти и газа, обеспечивающее полную утилизацию попутного нефтяного газа (ПНГ). В настоящее время в Томской области средний уровень использования ПНГ составляет 91,8%, что ниже, чем в ХМАО-Югра (95,1%). Основными используемыми способами являются сдача ПНГ в магистральный газопровод, производство электро- и теплотенергии на месторождениях. Однако ограниченность двух последних заключается в существующих масштабах нефтегазовых промыслов и низкой плотности населения в силу концентрации вокруг областного центра.

### Обсуждение

Положительным фактором реализации всех представленных направлений является сочетание научного потенциала вузов и академических институтов СО РАН и промышленного и природоресурсного потенциалов, что формирует фундаментальную основу социально-экономического развития Томской области по кластерному типу в направлении диверсификации ТЭК региона. Вместе с тем существуют барьеры организационного, экономического и институционального характера.

1. Незавершенность проектов, которые находятся либо на стадии разработки, либо еще в процессе реализации, либо приостановлены в силу экономических причин. Стадия разработки многих проектов, несмотря на активизацию научного сообщества, может иметь мало прогнозируемый временной период, и кроме того, может растянуться на период до момента внедрения на несколько лет, когда в условиях высокой волатильности изменений в мировой экономике результат и инвестиционная привлекательность проектов могут отличаться от запланированного.

2. Инвестиционная привлекательность проектов в нефтегазовой отрасли региона формируется под действием комплекса факторов, в том числе следующих:

а) Масштабы деятельности добывающих и перерабатывающих предприятий. В Томской области ОАО «Томскнефть ВНК» и «Томскгазпром», а также ООО «Газпромнефть-Восток» обеспечивают 83,6% добычи нефти в регионе [14]. Добыча 7 малыми предприятиями в области составляет 0,25 млн т. При этом наблюдается постоянное сокращение добычи нефти в области основным недропользователем ОАО «Томскнефть ВНК» и растет добыча за ее пределами. Нефтеперерабатывающие заводы относятся к категории мини-НПЗ, доля которых в общем объеме переработки нефти в России составляет 2,4% и которые наиболее чувствительны к макроэкономическим изменениям. ОАО «Томскнефтехим» относится к крупным компаниям, но работающим на привозном сырье.

б) Характер собственности нефтеперерабатывающих предприятий Томской области, которые находятся либо в частной собственности, либо являются структурными подразделениями вертикально интегрированных компаний (ВИНК), что влияет на решения собственников относительно объемов финансово-инвестиционных ресурсов и их интересы, особенно значим в условиях макроэкономической нестабильности, когда в отношении данных предприятий действует остаточный принцип. В частности, доля Стрежевского НПЗ среди НПЗ, принадлежащих ПАО «Роснефть», составляет самую малую часть [37]. В связи с продажей данной ВИНК 50%-ной доли в ОАО «Томскнефть ВНК» долгосрочные перспективы Стрежевского НПЗ являются дискуссионными.

в) Инвестиционный климат, который определяется налоговым законодательством и мерами, принимаемыми региональными властями по привлечению инвестиций. Проводимый в несколько этапов налоговый маневр, направленный на увеличение глубины переработки нефти, явился фактором снижения объемов первичной переработки (в 2019 г. до 87%). Наиболее сильное влияние налоговый маневр оказывает на мини-НПЗ вследствие увеличения налоговой нагрузки по сравнению с крупными НПЗ, что также является значимым фактором финансовой устойчивости нефтеперерабатывающих предприятий региона.

Важно отметить, что инвестиционная привлекательность проектов, расположенных в сегменте даунстрим технологической цепочки (разведка – добыча – переработка – сбыт), формируется также под влиянием сегмента

апстрим, который, как описано выше, развивается в Томской области в негативном русле, что определяет в настоящее время отложенный на перспективу интерес к программам развития региона. Кроме того, негативно в будущем повлияет отмена льготного коэффициента по выработанности по НДПИ в части нефти с 2021 г., так как среди используемых льгот томскими недропользователями данная преференция наиболее весомая.

3. Инфраструктурные транспортные проблемы. В частности, проект строительства Северной широтной дороги не завершен, несмотря на начало еще в прошлом веке, что обуславливает практическую незаинтересованность нефтегазовых компаний в коммерциализации проектов, например по использованию CO<sub>2</sub> в качестве компонента МУН и по его захоронению. Эти проекты могут быть экономически выгодными в перспективе с учетом текущего состояния продуктивных пластов разрабатываемых месторождений и ожидаемого давления трансграничного углеродного налога.

Таким образом, в Томской области не сформирован в полном объеме минерально-сырьевой центр с многоуровневой системой коммуникаций, обеспечивающих комплексное освоение, переработку и сбыт, что является существенным фактором, сдерживающим развитие нефтегазовой отрасли, а следовательно, социально-экономическое развитие региона [38]. Это в условиях государственной ориентации на освоение минерально-сырьевых ресурсов в Восточной Сибири и Дальнем Востоке, а также происходящие трансформационные процессы в энергообеспечении могут усилить негативные тенденции в нефтегазовой отрасли.

### **Заключение**

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

1. Негативные тенденции в развитии нефтегазовой отрасли Томской области являются сдерживающим фактором диверсификации экономики в направлении достижения целей углеродной нейтральности, обуславливая инвестиционные возможности предприятий НГК и инвестиционную привлекательность проектов.

2. Совокупность научно-образовательного, промышленного и природоресурсного потенциалов с их характерными особенностями является базисом структурных изменений в экономике Томской области, которые при грамотном использовании конъюнктурных изменений, институциональных мер федерального и регионального уровня могут способствовать долгосрочному устойчивому экономическому росту.

3. В контексте роста добычи нефти и газа в регионе и выхода на уровень стабильной добычи с учетом императивов политики декарбонизации и сохранения локомотивной роли НГК актуальна, по нашему мнению, в среднесрочной перспективе модернизация НПЗ с углублением переработки для повышения выпуска различных видов углеводородных транспортных топлив и продукции вторичной переработки, коим может являться и водород. Модернизация и расширение мощности томских НПЗ носят мультипликативный характер.

Наименее затратным, на наш взгляд, является реализация лесоклиматических проектов, основанных на естественном природном механизме поглощения CO<sub>2</sub> с учетом лесистости территории региона, что позволит минимизировать уплачиваемые суммы трансграничного углеродного налога, который вступит в действие с 2023 г., а также использовать механизмы торговли углеродными единицами. Необходимо также совершенствовать технологические процессы, снижающие выбросы парниковых газов.

#### Список источников

1. *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm, 16 June 1972 (1973). N.Y.: United Nations. URL: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/CONF.48/14/Rev.1](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.48/14/Rev.1) (дата обращения: 20.12.2021).

2. *Ivan-Ungureanu I., Marcu M.* The Lisbon strategy // *Journal of Economic Forecasting*. 2006. № 3 (1). P. 74–83.

3. *Karamov D.N., Maltsev I.A., Tsyrendorzhiev B.B.* Analysis of world practices for stimulating the development of renewable energy sources. A case study for Russian conditions // *E3S Web of Conferences*. 2021. 89. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/65/e3sconf\\_esr2021\\_01017.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/65/e3sconf_esr2021_01017.pdf) (дата обращения: 22.11.2021); doi: 10.1051/e3sconf/202128901017

4. *Renewable Energy Statistics 2021*. The International Renewable Energy Agency, IRENA. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA\\_Renewable\\_Energy\\_Statistics\\_2021.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2021.pdf) (дата обращения: 20.11.2021).

5. *Renewable Power Generation Costs in 2019*. International Renewable Energy Agency, IRENA. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA\\_Power\\_Generation\\_Costs\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf) (дата обращения: 20.11.2021).

6. *Anastasiou A., Marietta P.* Sustainable Development at the Frames of the Strategy «Europe 2020» // *Theoretical Economics Letters*. 2020. № 10 (03). P. 443–457. doi: 10.4236/tel.2020.103028

7. *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council*. Brussels : European Commission. URL: <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-37896-proposition-commission-repartition-effort-climat.pdf> (дата обращения: 07.11.2021).

8. *Parry I.* Putting a Price on Pollution // *Finance & Development*. 2019. № 56 (4). P. 16–19.

9. *Указ Президента РФ «О сокращении выбросов парниковых газов» № 666 от 4.11.2020*. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/45990> (дата обращения: 07.11.2021).

10. *Проект Стратегии долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.* URL: <https://economy.gov.ru/> (дата обращения: 7.12.2021).

11. *Фролова Е.А., Шарф И.В.* Динамика социальных показателей устойчивого развития нефтедобывающих регионов России // *Вестник Томского государственного университета. Экономика*. 2021. № 53. С. 195–209. doi: 10.17223/19988648/53/14

12. *Welsby D., Price J., Pye S., Ekins P.* Unextractable fossil fuels in a 1.5°C world // *Nature*. 2021. № 597. P. 230–234. doi: 10.1038/s41586-021-03821-8

13. *Отчет о результатах деятельности исполнительных органов государственной власти Томской области за 2020 год* // Законодательная Дума Томской области. URL: <https://duma.tomsk.ru>

14. *Каспаров О.С., Гермаханов А.А., Герт А.А., Сергеев О.А., Филимонова И.В., Вараксин В.В., Тонконогов Ю.М.* Новые технологии разведки и добычи. Проблемы и перспективы использования малыми предприятиями // *Neftegaz.RU*. 2021. № 4. С. 14–19.

15. *Скоробогатов В.А.* Юрский продуктивный комплекс Западной Сибири: прошлое, настоящее, будущее // Научно-технический сборник. Вести газовой науки. 2017. № 3. С. 36–58.

16. *Ростовцев В.В., Литухина Е.Ю., Ростовцев В.Н.* Новые перспективы нефтегазовой отрасли в Томской области за счет палеозойских отложений // Газовая промышленность. 2019. № 4. С. 30–37.

17. *Шарф И.В., Михальчук А.А.* Налоговые льготы в системе недропользования: воспроизводственный аспект // Экономика региона. 2019. Т. 15, № 3. С. 791–805.

18. *Проект* Стратегии социально-экономического развития Томской области на период до 2030 года. Актуализация 2021 года // Министерство экономического развития Российской Федерации : сайт. URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/ccf4d7e264e8182820b0359c93f8fb5/proekt\\_strategii.PDF](https://www.economy.gov.ru/material/file/ccf4d7e264e8182820b0359c93f8fb5/proekt_strategii.PDF) (дата обращения: 12.11.2021).

19. *Распоряжением* Администрации Томской области № 1058-ра от 15.12.2015 «О стратегии развития нефтехимического Кластера Томской области на период до 2030 года». URL: <https://tomsk.gov.ru/documents/front/view/id/17884> (дата обращения: 12.12.2021).

20. *Томская область: трудный выбор своего пути / под ред. В.В. Кулешова.* Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2014. 260 с.

21. *Синяк Ю.В.* Моделирование стоимости водородного топлива в условиях его централизованного производства // Водородные энергетические технологии : материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН. М. : ОИВТ РАН, 2017. Вып. 1. С. 39–56.

22. *Макарян И.А., Седов И.В., Никитин А.В., Арутюнов В.С.* Современные подходы к получению водорода из углеводородного сырья // Научный журнал Российского газового общества. 2020. № 1. С. 50–68.

23. *Пискунов И.В., Глаголева О.Ф.* Основные перспективы переработки нефти, производства топлив и нетопливных нефтепродуктов в условиях перехода к низкоуглеродной энергетике // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2021. № 7. С. 5–20.

24. *Распоряжение* Правительства РФ № 2162-р от 5.08.2021 «Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации» URL: <http://government.ru/news/42971/> (дата обращения: 12.12.2021).

25. *Мастепанов А.М.* Водородная энергетика России: состояние и перспективы // Энергетическая политика. 2020. № 12. С. 54–65.

26. *Сидорова К.И.* Экономическая оценка использования технологии утилизации углекислого газа в нефтяных месторождениях для повышения нефтеотдачи : дис. ... канд. экон. наук. СПб. : Санкт-Петербург. горный университет, 2016. 155 с.

27. *Gambhir A., Tavoni M.* Direct Air Carbon Capture and Sequestration: How It Works and How It Could Contribute to Climate-Change Mitigation // One Earth. 2019. № 1 (4). P. 405–409. doi: 10.1016/j.oneear.2019.11.006

28. *Ahmad M.A., Samsuri Sh., Amran N.A.* Methods for Enhancing Recovery of Heavy Crude Oil // Processing of Heavy Crude Oils – Challenges and Opportunities / ed. by R.M. Gounder. London : IntechOpen, 2019. P. 1–15. doi: 10.5772/intechopen.90326

29. *El-hoshoudy A.N., Desouky S.* CO<sub>2</sub> Miscible Flooding for Enhanced Oil Recovery. Methods for Enhancing Recovery of Heavy Crude Oil // Carbon Capture, Utilization and Sequestration / ed. by R.K. Agarwal. London : IntechOpen, 2018. P. 79–93. doi: 10.5772/intechopen.79082

30. *Past projects.* The Petroleum Technology Research Centre (PTRC). URL: <https://ptrc.ca/projects/past-projects> (дата обращения: 12.12.2021).

31. *Zhang N.* Building shared knowledge for EOR technologies: Screening guideline constructions, dashboards, and advanced data analysis: Doctoral Dissertations. Missouri University of Science and Technology. URL: [https://scholarsmine.mst.edu/doctoral\\_dissertations/2799](https://scholarsmine.mst.edu/doctoral_dissertations/2799) (дата обращения: 15.12.2021).

32. Хромых Л.Н., Литвин А.Т., Никитин А.В. Применение углекислого газа в процессах повышения нефтеотдачи пластов // Вестник Евразийской науки. 2018. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/06NZVN518.pdf> (дата обращения: 17.12.2021).

33. Афанасьев С.В., Волков В.А., Прохоров П.Э., Турапин А.Н. «Зеленые» технологии в нефтегазодобыче // Инновации и «зеленые» технологии: Региональная научно-практическая конференция (Самара, 29 ноября 2017 года) : сборник материалов и докладов. Самара, 2018. С. 102–110.

34. Иванов Е.Н. Обоснование и разработка метода выбора технологий повышения нефтеотдачи с учетом геолого-физических свойств коллекторов ОАО «Томскнефть» ВНК : дис. ... канд. техн. наук. Тюмень : Тюмен. гос. нефтегазовый университет, 2013. 140 с.

35. Fajardy M., Dowell N.M. Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions? // Energy & Environmental Science. 2017. № 10. P. 1389–1426. doi: 10.1039/C7EE00465F.

36. Доклад «Об экологической обстановке в Томской области в 2020 году» // ОГБУ «Облкомприрода». URL: [https://ogbu.green.tsu.ru/?page\\_id=1456](https://ogbu.green.tsu.ru/?page_id=1456) (дата обращения: 15.11.2021).

37. Филимонова И.В., Проворная И.В., Немов В.Ю., Дзюба Ю.А. Российская нефтепереработка на современном этапе развития // Нефтегазовая вертикаль. 2020. № 17. С. 8–20.

38. Земнухова Е.А., Филимонова И.В. Пространственная организация системы коммуникаций арктического минерально-сырьевого центра // Экономические науки. 2021. № 200. С. 131–138. doi: 10.14451/1.200.131

## References

1. UN. (1972) *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm, 16 June 1972 (1973). New York, NY: United Nations. [Online] Available from: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/CONF.48/14/Rev.1](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.48/14/Rev.1) (Accessed: 20.12.2021).

2. Ivan-Ungureanu, I. & Marcu, M. (2006) The Lisbon strategy. *Journal of Economic Forecasting*, 3 (1). pp. 74–83.

3. Karamov, D.N., Maltsev, I.A. & Tsyrendorzhiev, B.B. (2021) Analysis of world practices for stimulating the development of renewable energy sources. A case study for Russian conditions. *E3S Web of Conferences*. [Online] Available from: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/65/e3sconf\\_esr2021\\_01017.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/65/e3sconf_esr2021_01017.pdf) (Accessed: 22.11.2021). DOI: 10.1051/e3sconf/202128901017

4. IRENA. (2021) *Renewable Energy Statistics 2021*. [Online] Available from: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA\\_Renewable\\_Energy\\_Statistics\\_2021.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2021.pdf) (Accessed: 20.11.2021).

5. IRENA. (2019) *Renewable Power Generation Costs in 2019*. [Online] Available from: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA\\_Power\\_Generation\\_Costs\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf) (Accessed: 20.11.2021).

6. Anastasiou, A. & Marietta, P. (2020) Sustainable Development at the Frames of the Strategy “Europe 2020”. *Theoretical Economics Letters*, 10 (03). pp. 443–457. DOI: 10.4236/tel.2020.103028

7. EC. (2021) *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council*. [Online] Available from: <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-37896-proposition-commission-repartition-effort-climat.pdf> (Accessed: 7.11.2021).

8. Parry, I. (2019) Putting a Price on Pollution. *Finance & Development*, 56 (4). pp. 16–19.

9. Russian Federation. (2020) *Ukaz Prezidenta RF ot 4.11.2020 № 666 “O sokrashchenii vybrosov parnikovyykh gazov”* [Decree of the President of the Russian Federation of

November 4, 2020, No. 666 “On the reduction of greenhouse gas emissions”. [Online] Available from: <http://kremlin.ru/acts/bank/45990> (Accessed: 7.11.2021).

10. Russian Federation. (2021) *Proekt Strategii dolgosrochnnogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii s nizkim urovnem vybrosov parnikovykh gazov do 2050 g*. [Draft Strategy for the Long-Term Development of the Russian Federation with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050]. [Online] Available from: [https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt\\_strategii.pdf](https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf) (Accessed: 7.12.2021).

11. Frolova, E.A. & Sharf, I.V. (2021) Trends in Social Sustainable Development Indicators for Russian Oil-and-Gas Regions. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika – Tomsk State University Journal of Economics*. 53. pp. 195–209. (In Russian). DOI: 10.17223/19988648/53/14

12. Welsby, D., Price, J., Pye, S. & Ekins, P. (2021) Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world. *Nature*. 597. pp. 230–234. DOI: 10.1038/s41586-021-03821-8

13. Legislative Duma of Tomsk Oblast. (2020) *Otchet o rezul'tatakh deyatel'nosti ispolnitel'nykh organov gosudarstvennoi vlasti Tomskoi oblasti za 2020 god* [Report on the results of the activities of the executive bodies of state power of Tomsk Oblast for 2020]. [Online] Available from: <https://tomsk.gov.ru/otchet-o-deyatelnosti-v-2020-godu> (Accessed: 7.12.2021).

14. Kasparov, O.S., Germakhanov, A.A., Gert, A.A., Sergeev, O.A., Filimonova, I.V., Varaksin, V.V. & Tonkonogov, Yu.M. (2021) Novye tekhnologii razvedki i dobychi. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya malymi predpriyatiyami [New technologies for exploration and production. Problems and prospects for use by small businesses]. *Neftegaz.RU*. 4. pp. 14–19.

15. Skorobogatov, V.A. (2017) Jurassic productive complex of Western Siberia: past, present and future. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik. Vesti gazovoi nauki – Vesti gazovoy nauki. Scientific-Technical Collection book*. 3. pp. 36–58. (In Russian).

16. Rostovtsev, V.V., Lipikhina, E.Yu. & Rostovtsev, V.N. (2019) New prospects of the oil and gas industry in Tomsk Oblast by means of the Paleozoic sediments. *Gazovaya promyshlennost' – Gas Industry Journal*. 4. pp. 30–37. (In Russian).

17. Sharf, I.V. & Mikhalechuk, A.A. (2019) Tax Incentives in the System of the Natural Resources Management: Reproduction Aspect. *Ekonomika regiona – Economy of regions*. 15 (3). pp. 791–805. (In Russian). DOI: 10.17059/2019-3-13

18. Russian Federation. (2021) *Proekt Strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Tomskoi oblasti na period do 2030 goda. Aktualizatsiya 2021 goda* [Draft Strategy for the socio-economic development of Tomsk Oblast for the period up to 2030. Update 2021]. [Online] Available from: [https://www.economy.gov.ru/material/file/ccf4d7e264e8182820b0359c93f8fbb5/proekt\\_strategii.PDF](https://www.economy.gov.ru/material/file/ccf4d7e264e8182820b0359c93f8fbb5/proekt_strategii.PDF) (Accessed: 12.11.2021).

19. Legislative Duma of Tomsk Oblast. (2015) *Rasporyazhenie Administratsii Tomskoi oblasti №1058-ra ot 15.12.2015 “O strategii razvitiya neftekhimicheskogo klastera Tomskoi oblasti na period do 2030 goda”* [Order of the Administration of Tomsk Oblast No. 1058-ra of December 15, 2015, “On the Development Strategy for the Petrochemical Cluster of Tomsk Oblast for the period up to 2030”]. [Online] Available from: <https://tomsk.gov.ru/documents/front/view/id/17884> (Accessed: 12.12.2021).

20. Kuleshov, V.V. (ed.) (2014) *Tomskaya oblast': trudnyi vybor svoego puti* [Tomsk region: difficult choice of your path]. Novosibirsk: IEOPP SO RAN.

21. Sinyak, Yu.V. (2017) [Hydrogen energy technologies] *Modelirovanie stoimosti vodorodnogo topliva v usloviyakh ego tsentralizovannogo proizvodstva* [Modeling the cost of hydrogen fuel in conditions of its centralized production]. Proceedings of the Seminar of the Laboratory for Hydrogen Energy Technologies of JIHT RAS. Vol. 1. Moscow: OIIVT RAN. pp. 39–56.

22. Makaryan, I.A., Sedov, I.V., Nikitin, A.V. & Arutyunov, V.S. (2020) Current trends in the production of hydrogen from hydrocarbon feedstock. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo gazovogo obshchestva – Scientific Journal of the Russian Gas Society*. 1. pp. 50–68. (In Russian).

23. Piskunov, I.V. & Glagoleva O.F. (2021) The main prospects for oil refining, production of fuel and non-energy oil products in the context of the transition to low-carbon energy. *Neftepererabotka i neftehimiya. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt – Oil refining and petrochemistry. Scientific and technological achievements and best practices*. 7. pp. 5–20. (In Russian).

24. Russian Federation. (2021) *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF № 2162-r ot 5.08.2021 "Konceptiya razvitiya vodorodnoy energetiki v Rossiyskoy Federacii"* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 2162-r of August 05, 2021, "Concept for the development of hydrogen energy in the Russian Federation"]. [Online] Available from: <http://government.ru/news/42971/> (Accessed: 12.12.2021).

25. Mastepanov, A.M. (2020) *Vodorodnaya energetika Rossii: sostoyanie i perspektivy* [Hydrogen energy in Russia: state and prospects]. *Energeticheskaya politika – Energy policy*. 12. pp. 54–65.

26. Sidorova, K.I. (2016) *Ekonomicheskaya otsenka ispol'zovaniya tekhnologii utilizatsii uglekislogo gaza v neftyanykh mestorozhdeniyakh dlya povysheniya nefteotdachi* [Economic evaluation of the use of carbon dioxide utilization technology in oil fields for enhanced oil recovery]. Economics Cand. Diss. Saint Petersburg.

27. Gambhir, A. & Tavoni, M. (2019) Direct Air Carbon Capture and Sequestration: How It Works and How It Could Contribute to Climate-Change Mitigation. *One Earth*. 1 (4). pp. 405–409. DOI: 10.1016/j.oneear.2019.11.006

28. Ahmad, M.A., Samsuri, Sh. & Amran, N.A. (2019) Methods for Enhancing Recovery of Heavy Crude Oil. In: Gounder, R.M. (ed.). *Processing of Heavy Crude Oils – Challenges and Opportunities*. London: IntechOpen. pp. 1–15. DOI: 10.5772/intechopen.90326

29. El-hoshoudy, A.N. & Desouky, S. (2018) CO<sub>2</sub> Miscible Flooding for Enhanced Oil Recovery. *Methods for Enhancing Recovery of Heavy Crude Oil*. In: Agarwal, R.K. (ed.). *Carbon Capture, Utilization and Sequestration*. (79–93). London: IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.79082

30. The Petroleum Technology Research Centre (2021). *Past projects*. [Online] Available from: <https://ptrc.ca/projects/past-projects> (Accessed: 12.12.2021).

31. Zhang, N. (2019) *Building shared knowledge for EOR technologies: Screening guideline constructions, dashboards, and advanced data analysis*. Doctoral Dissertations. Missouri University of Science and Technology. [Online] Available from: [https://scholarsmine.mst.edu/doctoral\\_dissertations/2799](https://scholarsmine.mst.edu/doctoral_dissertations/2799) (Accessed: 15.12.2021).

32. Khromykh, L.N., Litvin, A.T. & Nikitin, A.V. (2018) Application of carbon dioxide in enhanced oil recovery. *Vestnik Evraziiskoi nauki – The Eurasian Scientific Journal*. 5. [Online] Available from: <https://esj.today/PDF/06NZVN518.pdf> (Accessed: 17.12.2021). (In Russian).

33. Afanasev, S.V., Volkov, V.A., Prokhorov, P.E. & Turapin, A.N. (2018) [Innovation and "green" technologies] "Green" technologies in the field of oil and gas recovery. *Proceedings of the Regional Scientific and Practical Conference*. Samara. 29 November 2017. Samara. pp. 102–110. (In Russian).

34. Ivanov, E.N. (2013) *Obosnovanie i razrabotka metoda vybora tekhnologii povysheniya nefteotdachi s uchetom geologo-fizicheskikh svoystv kollektorov OAO "Tomskneft" VNK* [Substantiation and development of a method for selecting technologies for enhanced oil recovery, taking into account the geological and physical properties of the reservoirs of JSC "Tomskneft" VNK]. Engineering Cand. Diss. Tyumen.

35. Fajardy, M. & Dowell, N.M. (2017) Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions? *Energy & Environmental Science*. 10. pp. 1389–1426. DOI: 10.1039/C7EE00465F

36. Department of Natural Resources and Environmental Protection of Tomsk Oblast. (2021) *Doklad "Ob ekologicheskoy obstanovke v Tomskoi oblasti v 2020 godu"* [Report "On the environmental situation in Tomsk Oblast in 2020"]. [Online] Available from: [https://ogbu.green.tsu.ru/?page\\_id=1456](https://ogbu.green.tsu.ru/?page_id=1456) (Accessed: 15.11.2021).

37. Filimonova, I.V., Provornaya, I.V., Nemov, V.Yu. & Dzyuba, Yu.A. (2020) Rossiiskaya neftepererabotka na sovremennom etape razvitiya [Russian oil refining at the present stage of development]. *Neftegazovaya vertikal' – Oil and gas vertical*. 17. pp. 8–20.

38. Filimonova, I.V. & Zemnukhova, E.A. (2021) Spatial organization of the communication system of the Arctic mineral resource center. *Ekonomicheskie nauki – Economic Sciences*. 200. pp. 131–138. (In Russian). DOI: 10.14451/1.200.131

***Сведения об авторе:***

**Шарф И.В.** – доктор экономических наук, профессор отделения нефтегазового дела Томского политехнического университета (Томск, Россия). E-mail: irina\_sharf@mail.ru

***Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.***

***Information about the author:***

**I.V. Sharf**, Dr. Sci. (Economics), professor, National Research Tomsk Polytechnic University (Tomsk Russian Federation). E-mail: irina\_sharf@mail.ru

***The author declares no conflicts of interests.***

*Статья поступила в редакцию 31.01.2022;  
одобрена после рецензирования 21.04.2022; принята к публикации 05.05.2022.*

*The article was submitted 31.01.2022;  
approved after reviewing 21.04.2022; accepted for publication 05.05.2022.*