УДК 338.45

Критический анализ методических подходов к оценке устойчивости арктических нефтегазовых проектов

А.Е.ЧЕРЕПОВИЦЫН, П.С.ЦВЕТКОВ ✉, О.О.ЕВСЕЕВА

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Как цитировать эту статью: Череповицын А.Е. Критический анализ методических подходов к оценке устойчивости арктических нефтегазовых проектов / А.Е.Череповицын, П.С.Цветков, О.О.Евсеева // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 463-478. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.15

Аннотация. Освоение углеводородных ресурсов Арктики является одной из приоритетных задач, стоящих перед экономикой Российской Федерации, однако подобные проекты несут и существенные риски для экологии близлежащих регионов. Масштабное освоение углеводородных ресурсов в Арктике должно основываться на принципах устойчивого развития, предполагающих наличие баланса между социально-экономическими преимуществами и экологическими рисками. Целью данной работы является анализ пробелов в научных знаниях по вопросам оценки устойчивости арктических нефтегазовых проектов (НГП) и систематизация ключевых проблемных элементов подобных оценок. Анализ проводился в разрезе четырех ключевых элементов, определяющих целесообразность реализации арктических НГП в контексте устойчивого развития: экономическая эффективность, общественные эффекты, экологическая безопасность и доступность технологий. Методика проведения библиометрического анализа, включающего более 15227 источников из базы Scopus за 2005-2020 гг., основана на рекомендациях PRISMA к составлению систематических обзоров и мета-анализов. Была построена карта методических проблем оценки устойчивости арктических НГП, разделенная на четыре ключевых сектора: учет факторов, определяющих устойчивость; оценка устойчивости; интерпретация результатов оценки; управление устойчивостью. Эта карта может являться основой для проведения серии точечных исследований, нацеленных на ликвидацию существующих конкретных методологических недостатков концепции устойчивого развития, применительно к арктическим НГП.

Ключевые слова: устойчивое развитие; арктические нефтегазовые проекты; оценка устойчивости; эколого-экономический баланс; Арктика; библиометрический анализ; PRISMA

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-110-50363 «Критический анализ методических подходов к оценке устойчивости арктических нефтегазовых проектов»).

Введение. Для России развитие Арктики является стратегически значимой задачей ближайших десятилетий в связи с необходимостью развития ресурсного потенциала углеводородного сырья, создания и апробации новых технологических решений в нефтегазовой отрасли (НГО), усиления геополитического влияния и др. Прогнозные запасы углеводородных ресурсов составляют «порядка 30 % от мировых неразведанных запасов природного газа и 13 % от запасов нефти» [1]. При этом большая часть этих ресурсов, предположительно, сконцентрирована на севере Аляски и в западной части российской арктической зоны [2]. В этой связи можно предположить, что скорое истощение запасов углеводородов [3] не соответствует действительности. Однако, учитывая темпы добычи легкоизвлекаемых запасов, а также рост мирового энергопотребления [4], проблема истощения запасов «дешевой» нефти является нерешенной [5].

Освоение ресурсного углеводородного потенциала Арктики могло бы существенно восполнить постепенно снижающиеся запасы старых нефтепромысловых регионов [6]. Но здесь необходимо отметить, что для обеспечения рентабельности арктических нефтегазовых проектов (НГП) необходим стабильный спрос на конечную продукцию при одновременно высоких ценах [7, 8] в связи с высокой капиталоемкостью проектов и значительными рисками инвестиционного, рыночного, а также геологического и экологического характера. В работе [9] показано, что удельные затраты на добычу арктической нефти могут быть в 2-10 раз выше, чем на добычу из традиционных источников, особенно, когда речь идет о морских месторождениях, на долю которых приходится 84 % прогнозных ресурсов Арктики [10]. Тем не менее технологическое развитие в мире позволило снизить точку безубыточности для глубоководных шельфовых проектов с 80-100 до 50-70 дол. США за баррель. В настоящее время в России есть проблемы с наличием полного спектра отечественных технологий, необходимых для освоения шельфа. Объективные стоимостные факторы, а также действие секторальных санкций, из-за которых Россия не имеет доступ

к некоторым передовым технологиям добычи углеводородов [11], которые могли бы снизить расходы на освоение нефтегазовых месторождений, являются одними из основных барьеров интенсификации процесса освоения запасов Арктики.

Практически во всех научных работах [12] отмечается необходимость учета принципов устойчивого развития (УР) при осуществлении любой производственно-хозяйственной деятельности на территории арктических регионов, в первую очередь, из-за уязвимости местных экосистем [13, 14]. Особенно это касается предприятий, осуществляющих добычу полезных ископаемых, которые по своей сущности являются экологически опасными производственными объектами. Этот фактор определяет сложную научно-практическую задачу по обоснованию критериев оценки устойчивости арктических НГП, которые могли бы быть использованы при определении целесообразности их реализации и, одновременно, не становились бы непреодолимым барьером, учитывая во многих случаях граничную рентабельность нефтегазовых проектов в этих регионах.

Несмотря на то, что вопросы устойчивого развития систем различного уровня (микро-, мезо-, макро-), равно как и вопросы устойчивого функционирования промышленных систем Арктики, активно развиваются в последние годы, принципы и подходы к оценке устойчивости арктических НГП находятся на начальном этапе развития. Таким образом, объектом исследования в данной работе являются арктические НГП, а их «устойчивость», оценка и анализ которой содержит ряд теоретических и методологических проблем, определена в качестве предмета исследования. Целью данной работы является анализ пробелов в научных знаниях по вопросам оценки устойчивости арктических НГП и систематизация ключевых проблемных элементов подобных оценок.

Постановка проблемы. Задача поиска путей УР арктических НГП имеет, с одной стороны, практический характер, а с другой стороны, сопряжена с необходимостью решения ряда теоретических и методологических проблем.

С практической точки зрения важно найти баланс между коммерческими интересами добывающих предприятий и ключевыми положениями УР, что крайне важно в контексте реализации арктических НГП на шельфе. Значительная капиталоемкость таких проектов ведет к невысокой рентабельности, и в ряде случаев несопоставима с альтернативными вариантами инвестирования, например, с реализацией нефтегазовых проектов на суше в освоенных регионах [15]. В свою очередь, граничная рентабельность или ее отсутствие связаны как с мировой конъюнктурой цен на энергоносители, так и с природно-климатическими условиями и географическим расположением нефтегазовых месторождений или перспективных участков. Основной проблемой является разработка практикоориентированных подходов к УР арктических НГП, которые смогут обеспечить их жизнеспособность и конкурентоспособность [16], при одновременном контроле воздействия на окружающую среду и обеспечении социального развития арктических регионов. Управление УР не может осуществляться без наличия системы оценки, несмотря на то, что вопрос о ее количественно-качественном содержании и является дискуссионным [17].

С теоретико-методологической точки зрения наблюдается сравнительно малое количество исследований, посвященных УР арктических НГП. «Простые» (без использования дополнительных фильтров) поисковые запросы (ПЗ) по базе Scopus показали (табл. 1), что существует значительное количество научных работ как в области УР нефтегазовых проектов (9743 публикаций), так и в области реализации арктических НГП (7038 публикаций). Исследованиям специфики УР арктических НГП посвящено только 52 публикации, что говорит о незначительном объеме исследований и наличии возможных пробелов в данной научной области.

Таблица 1

Описание и результаты «простых» ПЗ по базе Scopus

Номер запроса	Число результатов	Описание запроса
1	52	TITLE (arctic AND sustainab* AND (oil OR «natural gas» OR petroleum) OR KEY (arctic AND sustainab* AND (oil OR «natural gas» OR petroleum)
2	9743	TITLE (sustainab* AND (oil OR «natural gas» OR petroleum) OR KEY (sustainab* AND (oil OR «natural gas» OR petroleum)
3	7038	TITLE (arctic AND (oil OR «natural gas» OR petroleum) OR KEY (arctic AND (oil OR «natural gas» OR petroleum)

Эти пробелы проявляются в обширном перечне методологических вопросов. Существующие подходы к оценке устойчивости нефтегазовых проектов, как правило, не учитывают все этапы их жизненного цикла, что является критически важным с точки зрения отраслевой специфики в связи с продолжительным периодом освоения месторождения и выхода на проектную мощность, а также дальнейшим переходом к стадии падающей добычи и консервации скважин.

Спорными являются индикаторы оценки устойчивости сложной промышленной системы, формируемой в рамках нефтегазового проекта, которые зачастую определяются тремя базовыми аспектами (экологические, социальные и экономические эффекты) и не подразумевают дальнейшую декомпозицию, что делает их неприменимыми в рамках стратегического и тактического управления. Так, например, в системе индикаторов недостаточное внимание уделяется учету экономических рисков подобных проектов, а также их технологической устойчивости и способности формировать инновационный продукт [18] в рамках реализации сложных проектов освоения арктического шельфа. Этот вопрос имеет особое значение для России из-за сложившейся геополитической ситуации, при которой фактически закрыт доступ к ряду передовых зарубежных технологий добычи углеводородов, и активизации политики импортозамещения.

Необоснованно игнорируется национальная и региональная специфика реализации проекта, тогда как именно она является одним из ключевых факторов при определении целесообразности разработки месторождения. Кроме того, учитывая роль проектов в экономике арктических регионов, необходим учет общественных эффектов от их реализации, что является отдельной научной проблемой.

Масштабная реализация нефтегазовых проектов в российской Арктике требует устранения обозначенных пробелов в научных знаниях и определения новых ориентиров научных исследований, которые позволят перейти от теории устойчивого развития к практической реализации.

Библиометрический анализ. Целью проведения библиометрического анализа является выявление пробелов в научных знаниях по вопросам, связанным с УР, в частности арктических НГП. В качестве основного источника информации была выбрана база данных Scopus. Общий порядок отбора научных публикаций показан в табл.2. Для уточнения специфических особенностей российской Арктики были использованы некоторые публикации, полученные из базы Elibrary. Для уточнения отдельных вопросов теории УР осуществлялся выборочный поиск по базе Google Scholar.

Таблица 2

Порядок отбора публикаций из базы данных Scopus

Этап анализа	Результаты по отдельным ПЗ		
	Анализ работ в области УР арктических НГП (ПЗ 1)	Анализ специфики УР НГП (ПЗ 2)	Анализ специфики арктических НГП (ПЗ 3)
Определение целей ПЗ			
Формирование ПЗ (результатов)	52	9743	7038
Применение фильтров			
• только журнальные статьи и сборники конференций	–3	–1319	–333
• только статьи, тезисы конференций, научные обзоры	–3	–160	–98
• области знаний: Energy; Earth and Planetary Sciences; Science; Social Sciences; Economics and Finance; Business, Management and Accounting; Multidisciplinary; Decision Sciences	–30	–4251	–4590
• публикации 2005-2020 гг.	–1	500	1053
• удаление нерелевантных ключевых слов	–7	3481	928
Количество публикаций для полнотекстового анализа	8	32	36

Исходя из целей исследования, было сформулировано три ПЗ в базе Scopus. При отборе было использовано множество фильтров, так как простой поиск по ключевым словам и названию (табл.1) не позволяет отсеять все нерелевантные результаты (например, «oil» входит в состав «palm oil»). Также было введено ограничение по годам: 2005-2020 гг. для всех ПЗ, кроме второго, для которого диапазон работ был ограничен 2015-2020 гг. (на 01.02.2020). Это связано с тем, что его основной целью является сбор информации о специфике УР НГП, но не анализ истории

развития этой концепции, которая достаточно динамично изменяется и расширяется. Кроме того, именно в 2015 г. Генеральной Ассамблеей ООН была принята глобальная повестка в области устойчивого развития до 2030 г. [19], что можно считать отправной точкой для нового этапа исследований в этой области.

Анализ итогового перечня публикаций показал, что большинство работ опубликовано в журналах с высокими библиометрическими показателями (относятся к Q1 и Q2 согласно scimagojr.com). Публикации достаточно равномерно распределены по различным изданиям, что говорит о широком научном профиле данной проблематики. В табл.3 показаны издания, имеющие максимальное удельное количество цитирований, рассчитанное по отобранным публикациям.

Таблица 3

Характеристика изданий, в которых опубликованы отобранные публикации

Издание	Цитирования	Публикации	Удельное число цитирований
Atmospheric Chemistry and Physics	72	1	72,00
Water, Air, and Soil Pollution	35	1	35,00
Marine and Petroleum Geology	101	3	33,67
Renewable and Sustainable Energy Reviews	25	1	25,00
Energy Research and Social Science	24	1	24,00
Izvestiya – Atmospheric and Ocean Physics	24	1	24,00
Geoforum	24	1	24,00
Russian Geology and Geophysics	59	3	19,67
Energy Policy	101	6	16,83
Journal of the Knowledge Economy	16	1	16,00
Natural Resources Journal	16	1	16,00
Energy Economics	59	4	14,75
Impact Assessment and Project Appraisal	13	1	13,00
Cold Regions Science and Technology	13	1	13,00
Sustainable Development	12	1	12,00
AAPG Bulletin	22	2	11,00
Corporate Social Responsibility and Environmental Management	11	1	11,00
Resources Policy	31	3	10,33
Environmental Reviews	10	1	10,00
Science of the Total Environment	19	2	9,50
Journal of Cleaner Production	75	8	9,38

Общее количество цитирований на одну публикацию в зависимости от года колеблется в диапазоне от 6 до 8 (табл.4). В целом, несмотря на условность данного показателя, эти значения представляются достаточно высокими, что позволяет говорить о качестве рассматриваемой выборки.

Таблица 4

Динамика накопленного числа цитирований и публикаций по годам

Показатель	Год															
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Публикации	5	6	11	18	19	27	40	43	50	56	64	86	107	119	150	154
Цитирования	95	95	100	172	172	277	465	504	517	532	583	695	842	905	939	939

Табл.1 и 2 показывают наличие области пересечения ПЗ 2 и 3, но не позволяют увидеть взаимозависимость, которая даст возможность судить, во-первых, о целесообразности рассмотрения отобранных литературных источников в контексте единой методической основы, во-вторых, о точках концентрации тематики этих исследований, что имеет значение в связи с присутствием существенного количества нерелевантных результатов поиска в изначальных выборках. Был проведен кластерный анализ отобранных публикаций с помощью программного обеспечения VOSviewer [20].

Результаты показали наличие двух явных взаимосвязей. Во-первых, анализ ключевых слов позволил выделить фокус исследований на вопросах, тесно связанных с тематикой данной статьи (рис.1). Помимо очевидной основополагающей роли термина «устойчивое развитие» (*sustainable*

development), достаточно четко просматриваются научные области отдельных ПЗ, а также зоны их пересечения. Стоит отметить, что в рамках ПЗ 3 сравнительно большим весом обладает термин «Russian Federation» (единственная выделяющаяся страна). Отсутствие названий прочих стран, в том числе Арктического круга [21], среди перечня наиболее распространенных ключевых слов говорит либо о малом количестве публикаций, либо о низком приоритете вопросов УР НГП.

Во-вторых, просматриваются международные научные коллаборации как среди отдельных ученых, так и среди авторских коллективов (рис.2). Стоит отметить, что исследования по вопросам УР арктических систем проводятся не только в северных странах, но также и в тех из них, которые заинтересованы в росте импорта энергетических ресурсов, например, Китае [22, 23].

Рис.1. Визуализация кластерного анализа отобранных статей по ключевым словам

Рис.2. Визуализация кластерного анализа отобранных статей по авторам

Некоторые исследования акцентируют внимание на нецелесообразности развития добычи энергетических ресурсов в Арктике, так как это ускорит темпы роста выбросов парниковых газов за счет увеличения потребления ископаемых видов топлива и повысит риски устойчивого функционирования арктических экосистем [24]. Обширная география исследований, а также наличие противоречивых результатов говорят об актуальности и о глобальном характере проблемы УР арктических НГП.

Методологические основы концепции УР арктических НГП. В первую очередь следует отметить неоднозначность терминологии в данной области. Изначально, а также в некоторых современных исследованиях [25], термин «устойчивость» (*sustainability*) ассоциировался, преимущественно, с экологическими аспектами человеческой деятельности. При этом «устойчивое развитие» (*sustainable development*) понимается в более широком смысле и включает, помимо экологических, экономические, социальные и прочие аспекты. В данной работе мы будем придерживаться наиболее распространенного сегодня подхода, согласно которому «устойчивость» является стационарной характеристикой объекта исследования в рамках динамического процесса, определяемого понятием «устойчивое развитие» [26].

Как правило, выделяются две формы устойчивости [27, 28, 29], имеющих свои специфические черты. Первая – «слабая устойчивость», которая предполагает возможность замещения израсходованного природного капитала за счет какого-либо произведенного капитала (*man-made*). Эта форма устойчивости основывается на оптимизме касательно перспектив технологического прогресса.

«Сильная устойчивость» (*strong sustainability*) предполагает, что некоторые виды природного капитала не могут иметь заменителей. Несмотря на то, что это разделение на первый взгляд носит чисто теоретическое значение, при ближайшем рассмотрении становится очевидно, что оно определяет различия в методах оценки устойчивости [30].

С точки зрения реализации арктических НГП в части добычи углеводородных ресурсов авторы статьи в большей степени придерживаются позиции «слабой устойчивости» с определенными уточнениями. Добыча и использование ископаемых видов топлива по своей сущности не может являться в полной мере устойчивым видом деятельности, так как не позволяет сохранить природные ресурсы для будущих поколений [31]. Однако, уже сегодня нефть и природный газ активно заменяются возобновляемыми источниками энергии. Стремительные темпы развития энергетических технологий позволяют предположить, что в ближайшем будущем доля ископаемых видов топлива в глобальной экономике будет снижаться, в связи с чем они могут считаться «заменяемыми» с определенной долей условности [32]. Ресурсы-заменители можно найти и для отраслей, связанных с переработкой углеводородов.

Несколько более неоднозначно выглядят вопросы экологического воздействия [33] вследствие, например, нефтяных разливов. Техногенная катастрофа на буровой платформе The Deepwater Horizon даже спустя десять лет оказывает влияние на экосистемы в зоне загрязнения [34], несмотря на многомиллиардные затраты компании ВР на ликвидацию последствий. Такие катастрофы являются непредвиденной, своего рода «шоковой» ситуацией (редко происходящей), в то время как операционная деятельность оказывает значительно меньший вред окружающей среде при принятии должных мер безопасности. И в этой связи теоретическую возможность широкомасштабного негативного воздействия довольно сложно оценить как в денежном, так и в натуральном выражении [35]. Таким образом, если исчерпание запасов углеводородов можно рассматривать с позиции «слабой» устойчивости, то потенциальный экологический вред от возникновения непредвиденных «шоковых» ситуаций не может быть компенсирован какими-либо иными формами капитала, что требует учета при разработке методов оценки устойчивости НГП.

Следует учитывать, что высокие экономические результаты могут быть обратно пропорциональны негативному экологическому воздействию предприятия [26], что говорит о необходимости создания благоприятных институциональных условий для функционирования предприятий, которые смогут обеспечить поддержание экологической безопасности, и предотвращения потенциально возможных техногенных катастроф.

Традиционно в рамках оценки УР выделяют три базовых аспекта: экология, экономика и общество. Следует учитывать, что специфика Арктики такова, что в ряде случаев следует вести речь не об устойчивости отдельного проекта, а об УР всего региона, в рамках которого смогут также

устойчиво развиваться другие сырьевые проекты, проекты развития смежных отраслей, социальные проекты [37, 38]. В зависимости от объемов запасов углеводородов могут быть выбраны различные стратегии управления развитием региона [39]. В частности, при разработке региональной стратегии УР возможно рассмотрение нескольких проектов, являющихся частью одной вертикально либо горизонтально интегрированной цепочки [40]. Подобные стратегии требуют иных подходов к проведению исследования [41] и выходят за пределы данной работы, однако возможность интеграции с концепциями УР систем более высокого уровня должна быть учтена.

Устойчивое развитие арктических НГП не может рассматриваться только с позиции эколого-экономических и общественных аспектов, так как они не позволяют выделить специфику объекта исследования в полной мере, а также не отражают внешнюю среду реализации проекта. В контексте данной работы более предпочтительна адаптация методики PESTEL анализа [42], что связано со значимостью политических, технологических и нормативно-правовых аспектов. Для достижения целей данной работы предлагается адаптированный подход к декомпозиции факторов, определяющих устойчивость арктических НГП (рис.3).

1. Важнейшей составляющей, определяющей устойчивое развитие НГП, являются технологии (технологическая устойчивость), позволяющие осуществить разработку месторождений в сложных геолого-промысловых и природно-климатических условиях. Идеи освоения Арктики и ее нефтегазового потенциала не новы, а их начало можно проследить еще с середины прошлого века [43]. Однако в те времена, в силу недостаточной технико-технологической оснащенности, развитие значительного количества НГП было нереализуемым. В настоящее время нефтегазовый комплекс достиг существенных успехов в технологическом развитии, но жесткие требования по обеспечению экологической безопасности производств, а также волатильность цен на рынках энергоносителей и рынках снабжения до сих пор являются существенными барьерами для устойчивого развития арктических НГП [44].

Множество работ посвящено изучению вопросов энергоснабжения арктических промышленных объектов с помощью возобновляемой энергетики. Большая часть работ рассматривает возобновляемую энергетику в качестве замены ископаемым видам топлива как для отдельных проектов, так и для децентрализованной энергетической системы Арктики в целом [45], и лишь в некоторых обозначено возможное ее использование для энергоснабжения арктических НГП [46]. Такая возможность является перспективной в том случае, когда использование добываемых

Рис.3. Декомпозиция ключевых факторов УР арктических НГП

энергетических ресурсов менее выгодно, чем возобновляемой энергетике, которая имеет обширный ресурсный потенциал в этих регионах [47].

Технологии, а также перспективы их появления и развития позволяют существенно изменить эффективность разработки месторождений [48], показателем чего является рост коэффициента извлечения углеводородов и снижение операционных затрат [49]. Технологии играют важную роль в вопросах обеспечения безопасности и позволяют минимизировать вероятность человеческой ошибки, а также обеспечить непрерывный мониторинг окружающей среды и функционирования промышленных объектов, что имеет значение, например, при управлении ледовой обстановкой [50], быстрого реагирования в случае аварийных разливов нефти [51] и реализации контроля стабильной работы в части добычи и обустройства месторождения, а также прочих производственных и организационно-управленческих задач в рамках реализации проекта [52]. С другой стороны, учитывая капиталоемкость таких проектов, в некоторых частях Арктики разработка может быть технически возможной, но экономически нецелесообразной [53].

2. Экономические аспекты устойчивого развития (экономическая устойчивость – EconS), как правило, ассоциируются со способностью предприятия поддерживать стабильность создания различных эффектов (поддающихся стоимостной оценке) в объеме, существенно превышающем затраты на их получение, вне зависимости от влияния внешней среды. В отношении НГП, как и любых других предприятий добывающей промышленности, как правило, нельзя говорить об обеспечении стабильной ЭУ на всей протяженности проекта.

Подобная ситуация связана с влиянием ряда объективных факторов, например, специфики жизненного цикла проектов (рис.4). Учет этой специфики является неотъемлемой частью оценки устойчивости НГП [54], которая практически отсутствует в научных работах.

В большинстве работ выделяются три этапа реализации НГП, (на рис.4 S2.1, S2.2, S2.3). В значительной степени экономическая устойчивость НГП достигается именно на производственном этапе, где формируются технологическая схема и технологический проект разработки месторождения и создаются основные экономические результаты. В рамках этого этапа проект достигает окупаемости ($T_{э-1}$), после чего начинается интенсивный рост дисконтированных доходов недропользователя и государства. На этапе снижения объемов добычи ($T_{э-2}$) происходит, как правило, ухудшение геолого-промысловых характеристик пластов, наблюдается рост обводненности скважин, растут удельные текущие затраты, в связи с чем экономические результаты резко снижаются. Для дальнейшей реализации проекта необходимы новые капитальные и текущие затраты, связанные, например, с бурением дополнительных скважин и (или) применением различных методов увеличения нефте- и газоотдачи пластов. Предпроизводственный этап, а также этап консервации месторождения, как правило, упускается [55].

Рис.4. Этапы жизненного цикла нефтегазового проекта

Предпроизводственный этап является основополагающим, так как в его рамках уточняется сырьевая база потенциального проекта, на основе информации о которой делается предварительное заключение о целесообразности разработки месторождения и его экономическом потенциале. Повышение дальнейшей устойчивости проекта обеспечивается за счет составления максимально точных и достоверных геологических моделей месторождения, на основе которых можно спрогнозировать объемы добычи и сроки разработки месторождения с высокой точностью [56]. Для России вопросы повышения эффективности геологоразведки стоят крайне остро, в том числе и на этапах промышленного освоения месторождения, где важна доразведка пластов и получение возможного прироста запасов углеводородов [57]. Арктические НГП могут компенсировать снижение запасов легкоизвлекаемых углеводородов в старопромысловых регионах, но необходимо отметить еще низкий уровень разведанности некоторых территорий арктической зоны хозяйствования [58].

Последний этап жизненного цикла нацелен на обеспечение экологической безопасности процесса консервации скважин для предотвращения возможных нефтяных разливов. На этом этапе не создаются какие-либо экономические эффекты, в связи с чем оценка его устойчивости может быть ограничена экологическими аспектами УР.

Помимо анализа жизненного цикла, другой плоскостью рассмотрения проекта в контексте анализа устойчивости является организация производственно-логистических цепочек (рис.5).

Вопросы оптимизации цепочек поставок достаточно обширно освещаются для многих отраслей [59], однако они, как правило, относятся к сбыту продукции. Ресурсоснабжение, в частности НГП, рассмотрено в ограниченном количестве публикаций [60, 61], несмотря на значимость этого аспекта для арктических проектов. Высокие риски, связанные с ресурсоснабжением, выражаются в невозможности осуществления производственной деятельности без наличия необходимых ресурсов в требуемом количестве (например, материальных или трудовых) и, как следствие, снижения средних показателей операционной эффективности [62]. В связи с этим управление цепями поставок требует значительно более детального изучения в рамках УР арктических НГП.

Этапы управления производственной деятельностью в рамках НГП [63] в отличие от подходов к их стратегическому управлению, включая очевидные проблемы с взаимоувязкой методов,

Рис.5. Декомпозиция аспектов производственной-хозяйственной деятельности в рамках НГП

применяемых на различных горизонтах планирования [64], достаточно широко освещены в научной литературе. Вопросы стратегического управления, как правило, не рассматриваются в контексте устойчивого развития в целом, а лишь в пределах определенных аспектов, например, экологических [65].

3. Общественные эффекты (социальная устойчивость – SS) могут быть крайне разнообразными и, в ряде случаев, не поддаются количественной оценке. Достаточно спорным вопросом является то, как именно компания должна «делиться» создаваемыми эффектами с обществом. Так, например, в ряде работ [66] делается акцент на необходимость взаимодействия с местным населением, однако, российская Арктика является крайне малонаселенным регионом. Проект с высокой вероятностью может быть реализован вдали от населенных пунктов, с привлечением работников на вахтовой основе. Из-за такой неоднозначности влияние местного населения рассматривается либо в рамках теоретических работ, либо при описании конкретного опыта компаний, однако каких-либо существенных достижений в области разработки универсальных механизмов взаимодействия пока не достигнуто.

Повышение безопасности производства для минимизации рисков экологической катастрофы может иметь несомненную пользу для возможности будущих поколений удовлетворять свои потребности. Например, территория российской Арктики имеет слабо развитую инфраструктуру [67], усиление которой также будет способствовать достижению целей УР согласно его классическому определению. В связи с этим УР арктических НГП может иметь несколько иной уклон, чем при рассмотрении других отраслей и регионов [68].

В современной литературе достаточно явно просматривается фокус исследований на корпоративной социальной ответственности (КСО) [69, 70], эта концепция ассоциируется с социальными аспектами УР. В отличие от КСО, которая является способом саморегуляции компании с целью разделения созданных эффектов между стейкхолдерами, УР, с общественной точки зрения, является оценкой результатов такого разделения и должна включать не столько частные аспекты, сколько определять общий вектор движения предприятия в этой области.

Выраженная ориентация работ на необходимость максимизации общественных эффектов упускает из виду тот факт, что реализация арктических проектов является крайне капиталоемкой и низкорентабельной сферой, которая, в первую очередь, требует обеспечения экономической эффективности самого производства, исходя из которой могут следовать разнородные общественные эффекты [71]. Необходимо понимать, что залогом УР является нахождение баланса между интересами всех стейкхолдеров, в том числе самой компании [72, 73], а не проведение дискриминационной социально ориентированной политики за право реализации проектов с высокими техническими и экономическими рисками. Нахождение такого баланса требует непосредственного участия государства, с одной стороны, как регулятора взаимодействия стейкхолдеров проекта [74], а с другой, как одного из непосредственных участников проекта, который может создать условия для его УР [75] и усиления общественных эффектов.

4. Несмотря на то, что изучение экологических аспектов является одной из наиболее распространенных тем в контексте УР, вопрос оценки экологической устойчивости (EcoS) НГП является одним из самых неоднозначных [76, 77]. Практически все предлагаемые методы сводятся к двум подходам. Первый – стоимостная оценка выбросов загрязняющих веществ на основе каких-либо стандартов. Недостатком такого подхода является отсутствие эффективных методов оценки масштабных выбросов загрязняющих веществ, как в упомянутом ранее случае с проектом Deep Water Horizon. Кроме того, стоимостные оценки значительно разнятся в различных источниках. В некоторых странах налог на выбросы CO₂ может составлять десятки долларов за тонну [78], тогда как в других он отсутствует, несмотря на то, что изменение климата является глобальной проблемой [79].

Второй подход основан на оценке удельных выбросов загрязняющих веществ за некоторый период [80] и оценке EcoS на основе сравнения с аналогичными предприятиями [81], либо с состоянием объекта исследования в прошлом. Подобный подход является более предпочтительным, хотя возможность сравнения различных НГП даже по удельным показателям является дискуссионным вопросом, так как каждый из них представляет собой совокупность уникальных характеристик, начиная с состава добываемого сырья и заканчивая ограниченной возможностью выбора ресурсов и технологий, необходимых для производственного процесса.

Рис.6. Подход к пониманию экологической устойчивости НПП

Вне зависимости от подхода, ЕсоS рассматривается как способность предприятия оказывать минимальное воздействие на окружающую среду. Учитывая это, целесообразным представляется рассмотрение ЕсоS с точки зрения накопленного за период реализации проекта негативного воздействия на окружающую среду. В достаточной мере объективным является предположение, что с развитием проекта накопленный экологический ущерб может быть описан возрастающей s-образной кривой (рис.6).

Начальные стадии реализации проекта связаны с минимальным экологическим ущербом, темпы прироста которого увеличиваются при переходе на второй и третий этапы реализации проекта (см. рис.4). На этапе снижения объемов добычи темпы роста ущерба, соответственно, снижаются. Оценка объемов выбросов всех загрязняющих веществ должна осуществляться в натуральном выражении с приведением их к единому знаменателю на основе стандартов, либо экспертных оценок, что даст более достоверные результаты, чем при стоимостной оценке. Такой подход позволит оценить объемы выбросов с точки зрения действующих нормативов и анализа материальных потоков (например, в отношении выбросов CO_2) [82], избежать скачков из экологически неустойчивого в устойчивое состояние (при отсутствии объективных причин). Использование оценок в натуральном выражении также позволяет осуществлять управление экологической устойчивостью в рамках любой из существующих сегодня концепций экологосбалансированной производственной деятельности [83], например, на основе анализа жизненного цикла продукции.

Систематизация пробелов в научных знаниях по вопросам оценки устойчивости арктических НПП. Выполненный анализ литературы не является исчерпывающим для рассматриваемой области, так как практически любая работа, посвященная вопросам развития каких-либо экономических субъектов, в той или иной степени может быть отнесена к тематике устойчивого развития. Несмотря на это, анализ позволил выполнить обобщение существующей методологической базы и выделить имеющиеся в ней научные пробелы (рис.7).

Цвета стрелок характеризуют выводы авторов о степени разработанности элемента, от которого она идет:

- зеленый – с точки зрения УР область является детально изученной, теоретические и прикладные аспекты развиты в достаточной для их объективного использования степени, дальнейшее развитие может быть связано с переходом к новым глобальным концепциям развития;
- желтый – область достаточно часто встречается в научной литературе, но в ней имеются объективно проблемные вопросы, которые не нашли своего решения;
- красный – область может быть как широко обсуждаемой, так и нет, но в ее рамках практически полностью отсутствуют устоявшиеся методы и подходы, а практические решения характеризуются с некоторой субъективностью.

Этап «Учет факторов» представляется в достаточной степени разработанным. Выделение различных аспектов устойчивости не вызывает каких-либо методологических проблем, так как они,

Рис.7. Карта элементов методологии устойчивого развития

как правило, интуитивно понятны. С другой стороны, восприятие устойчивости объекта исследования по аналогии с его эффективностью вызывает множество проблем при выделении таких аспектов как «Политическая устойчивость», либо при оценке рисков, т.е. в тех же аспектах, в которых недостаточно разработана методология оценки эффективности. В отношении выбора перечня показателей объективные проблемы имеются только при переносе качественных и натуральных показателей на стоимостную шкалу, что связано с отсутствием объективных коэффициентов, которые позволяют выполнить такой переход без множества допущений.

«Оценка устойчивости», проводимая на основе перечня показателей, характеризующих аспекты (факторы) устойчивости, имеет обширную методологическую и методическую основу, адаптированную практически под любые специфические условия оценки. В рамках анализа литературы удалось выявить только одну критическую область – определение веса показателей (аспектов). Этот процесс не может быть стандартизирован и, как правило, в значительной степени зависит от позиции автора исследования. Стоит отметить, что частично решить проблемы этой области позволяют методы нечеткой логики и подходы к определению весов на основе статистического анализа.

«Управление устойчивостью» – в некоторой степени неоднозначная область. Учитывая, что в большинстве исследований четко прослеживается связь эффективности и устойчивости, методы операционного управления обширны, многогранны и имеют высокую степень апробации в реальных условиях. С другой стороны, методы стратегического управления устойчивостью практически полностью отсутствуют в научной литературе, несмотря на то, что сама суть концепции УР предполагает длительные горизонты планирования и анализа.

«Интерпретация» является наиболее проблемной областью в рамках оценки устойчивости. В первую очередь это проявляется на этапе определения ее типа, так как научные исследования в области оценки воздействия человеческой деятельности на природу далеки от завершения. Также неопределенность вносят слабо развитые методы и подходы к технологическому прогнозированию, которые могли бы позволить оценить потенциальную возможность замещения природного

капитала. Помимо этого, проблемы имеются на финальном этапе оценки, при определении диапазонов устойчивости. В литературе можно встретить множество градаций значений авторских показателей, включающих от одного до более шести диапазонов. Основная проблема видится в том, что не существует объективных способов выделения диапазонов значений составных показателей, особенно когда они основаны на разнородных данных, нормализация которых осуществлялась с помощью нелинейных функций.

Заключение. Устойчивое развитие арктических НГП является актуальным направлением научных исследований, что определяется, с одной стороны, необходимостью расширения ресурсной базы топливно-энергетического комплекса, что особенно актуально для России ввиду стремительного истощения легкоизвлекаемых запасов углеводородного сырья, с другой стороны, необходимостью учета множества факторов технологического, экологического и социального характера при реализации таких проектов. Разработка арктических углеводородов имеет значение не только для стран, имеющих прямой доступ к этим запасам, но и для тех, которые заинтересованы в увеличении объема импорта энергетических ресурсов, например, Китая.

В современной научной литературе вопросы устойчивого развития арктических НГП рассматриваются крайне фрагментарно по сравнению с другими отраслями, из-за чего имеется множество пробелов в научных знаниях, связанных со спецификой реализации таких проектов. Вместе с тем, сама концепция УР, несмотря на общее колоссальное количество публикаций, имеет множество нерешенных вопросов как методологического, так и прикладного характера.

В данной работе был выполнен анализ текущего состояния исследований в области УР, на основе которого получены следующие результаты:

- выявлены сильные и слабые стороны существующих методических подходов к оценке устойчивости проектов;
- изучены особенности реализации НГП в Арктике и выполнен анализ значимости этапов жизненного цикла таких проектов;
- определены основные научные вопросы, которые не нашли своего решения, но могут иметь существенное значение для перехода от теоретических исследований к практической реализации принципов устойчивого развития при добыче углеводородов в Арктике.

В заключение следует отметить, что имеющиеся сегодня барьеры для реализации арктических НГП вносят значительную неопределенность в средне- и долгосрочные оценки целесообразности их реализации. Так, при современном уровне развития технологий добычи, а также с учетом имеющейся конкуренции на рынке разработка арктических месторождений может быть эффективна при сравнительно высоких ценах на нефть (по некоторым оценкам, более 80 дол. США за баррель) и стабильном спросе. Макроэкономическая ситуация начала марта 2020 г. показала, что ни одно из этих условий не может быть гарантировано в долгосрочной перспективе, в связи с чем ускорение темпов освоения углеводородов Арктики может стать возможным только за счет качественного рывка в сфере развития технологий добычи. Справедливо и другое предположение. В случае, если за период спада цен на нефть произойдет видимый рост эффективности технологий возобновляемой энергетики, это может привести к потере или, как минимум, снижению целесообразности разработки арктических углеводородов для удовлетворения энергетических потребностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Assessment of undiscovered oil and gas in the Arctic / D.L.Gautier, K.J.Bird, R.R.Charpentier et al. // Science. 2009. Vol. 324. Iss. 5931. P. 1175-1179. DOI: 10.1126/science.1169467
2. Zyrin V. Problems of unconventional gas resources production in arctic zone-Russia / V.Zyrin, A.Ilinova // Espacios. 2018. Vol. 39. № 42. P. 17.
3. Roberts P. The end of oil: On the Edge of a Perilous New World. Houghton Mifflin Harcourt, 2004. 368 p.
4. Global fossil energy markets and climate change mitigation – an analysis with REMIND / N.Bauer, I.Mouratiadou, G.Luderer et al. // Climatic Change. 2016. Vol. 136. P. 69-82. DOI: 10.1007/s10584-013-0901-6
5. Tsoskounoglou M. The end of cheap oil: Current status and prospects / M.Tsoskounoglou, G.Ayerides, E.Tritopoulou // Energy Policy. 2008. Vol. 36. Iss. 10. P. 3797-3806. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.05.011
6. Litvinenko V. The Role of Hydrocarbons in the Global Energy Agenda: The Focus on Liquefied Natural Gas // Resources. 2020. Vol. 9. Iss. 5. № 59. DOI: 10.3390/resources9050059
7. Poussenkova N.N. Arctic Offshore Oil in Russia: Optimism, Pessimism and Realism // Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law. 2019. Vol. 12. № 5. P. 86-108. DOI: 10.23932/2542-0240-2019-12-5-86-108

8. Lindholt L. Future production of petroleum in the Arctic under alternative oil prices / L.Lindholt, S.Glomsrød // The economy of the North. 2008. P. 69-73.
9. Brecha R.J. Logistic curves, extraction costs and effective peak oil // Energy Policy. 2012. Vol. 51. P. 586-597. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.09.016
10. Circum-Arctic resource appraisal: Estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle / K.J.Bird, R.R.Charpentier, D.L.Gautier et al. // US Geological Survey. 2008. № 2008-3049. P. 1-4. DOI: 10.3133/fs20083049
11. Geology and hydrocarbon resources of the continental shelf in Russian Arctic seas and the prospects of their development / A.E.Kontorovich, M.I.Epov, L.M.Burshtein et al. // Russian Geology and Geophysics. 2010. Vol. 51. Iss. 1. P. 3-11. DOI: 10.1016/j.rgg.2009.12.003
12. Kristoffersen B. Sustainable development as a global-Arctic matter: imaginaries and controversies / B.Kristoffersen, O.Langhelle // Governing Arctic Change. London: Palgrave Macmillan. 2017. P. 21-41. DOI: 10.1057/978-1-137-50884-3_2
13. High resilience in the Yamal-Nenets social-ecological system, West Siberian Arctic, Russia / B.C.Forbes, F.Stammiller, T.Kumpula et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2009. Vol. 106. Iss. 52. P. 22041-22048. DOI: 10.1073/pnas.0908286106
14. A review of biophysical and socio-economic effects of unconventional oil and gas extraction – Implications for South Africa / S.Esterhuysen, M.Avenant, N.Redelinghuys et al. // Journal of Environmental Management. 2016. Vol. 184. Part 2. P. 419-430. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.09.065
15. Harsem T. Factors influencing future oil and gas prospects in the Arctic / T.Harsem, A.Eide, K.Heen // Energy Policy. 2011. Vol. 39. Iss. 12. P. 8037-8045. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.09.058
16. Shuen A. Dynamic capabilities in the upstream oil and gas sector: Managing next generation competition / A.Shuen, P.F.Feiler, D.J.Teece // Energy Strategy Reviews. 2014. Vol. 3. P. 5-13. DOI: 10.1016/j.esr.2014.05.002
17. De Santo E.M. Missing marine protected area (MPA) targets: how the push for quantity over quality undermines sustainability and social justice // Journal of Environmental Management. 2013. Vol. 124. P. 137-146. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.01.033
18. Litvinenko V.S. Innovations as a Factor in the Development of the Natural Resources Sector / V.S.Litvinenko, I.B.Sergeev // Studies on Russian Economic Development. 2019. Vol. 30. P. 637-645. DOI: 10.1134/S107570071906011X
19. Desa U.N. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. 2016. URL: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (дата обращения 15.03.2021)
20. Van Eck N.J. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping / N.J.Van Eck, L.Waltman // Scientometrics. 2010. Vol. 84. Iss. 2. P. 523-538. DOI: 10.1007/s11192-009-0146-3
21. The analysis of convergence – divergence in the development of innovative and technological processes in the countries of the Arctic Council / N.I.Didenko, D.F.Skripnuk, K.N.Kikkas et al. // 2018 International Conference on Information Networking (ICOIN), 10-12 January, 2018, Chiang Mai, Thailand. IEEE. 2018. P. 626-631. DOI: 10.1109/ICOIN.2018.8343194
22. Weidacher Hsiung C. China and Arctic energy: drivers and limitations // The Polar Journal. 2016. Vol. 6. Iss. 2. P. 243-258. DOI: 10.1080/2154896X.2016.1241486
23. Sustainability, shale gas, and energy transition in China: assessing barriers and prioritizing strategic measures / J.Ren, S.Tan, M.E.Goodsite et al. // Energy. 2015. Vol. 84. P. 551-562. DOI: 10.1016/j.energy.2015.03.020
24. McGlade C. The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C / C.McGlade, P.Ekins // Nature. 2015. Vol. 517. P. 187-190. DOI: 10.1038/nature14016
25. Šyrovák M. On sustainability interpretations of the Ecological Footprint // Ecological Economics. 2020. Vol. 169. № 106543. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106543
26. Lior N. Comparing sustainable development measurement based on different priorities: sustainable development goals, economics, and human well-being – Southeast Europe case / N.Lior, M.Radovanović, S.Filipović // Sustainability Science. 2018. Vol. 13. P. 973-1000. DOI: 10.1007/s11625-018-0557-2
27. Bond A.J. Morrison-Saunders A. Re-evaluating sustainability assessment: aligning the vision and the practice // Environmental Impact Assessment Review. 2011. Vol. 31. Iss. 1. P. 1-7. DOI: 10.1016/j.eiar.2010.01.007
28. Wilson M.C. The problems of weak sustainability and associated indicators / M.C.Wilson, J.Wu // International Journal of Sustainable Development & World Ecology. 2017. Vol. 24. Iss. 1. P. 44-51. DOI: 10.1080/13504509.2015.1136360
29. Wu J. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes // Landscape Ecology. 2013. Vol. 28. P. 999-1023. DOI: 10.1007/s10980-013-9894-9
30. Dietz S. Weak and strong sustainability in the SEEA: Concepts and measurement / S.Dietz, E.Neumayer // Ecological Economics. 2007. Vol. 61. Iss. 4. P. 617-626. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.09.007
31. Mensah J. Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review / J.Mensah, S.Ricart Casadevall // Cogent Social Sciences. 2019. Vol. 5. Iss. 1. № 1653531. DOI: 10.1080/23311886.2019.1683296
32. Didenko N. The impact of energy resources on social development in Russia / N.Didenko, D.Skripnuk // Energy Production and Management in the 21st Century: The Quest for Sustainable Energy. WIT Press. 2014. Vol. 1. P. 151-159.
33. Green economy and related concepts: An overview / E.Loiseau, L.Saikkku, R.Antikainen et al. // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 139. P. 361-371. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.024
34. Oiling of the continental shelf and coastal marshes over eight years after the 2010 Deepwater Horizon oil spill / R.E.Turner, N.N.Rabalais, E.B.Overton et al. // Environmental Pollution. 2019. Vol. 252. Part B. P. 1367-1376. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.05.134
35. Díaz-Balteiro L. In search of a natural systems sustainability index / L.Díaz-Balteiro, C.Romero // Ecological Economics. 2004. Vol. 49. Iss. 3. P. 401-405. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2004.02.005
36. Модель корреляции между экономическим развитием и экологической результативностью на основе данных нефинансовой отчетности компании / В.Д.Богданов, Н.Н.Ильшева, Е.В.Балдеску, У.Ш.Закиров // Экономика региона. 2016. Т. 12. № 1. С. 93-104. DOI: 10.17059/2016-1-7
37. Fitjar R.D. Region-building in the arctic periphery: The discursive construction of A petroleum region // Geografiska Annaler, Series B: Human Geography. 2013. Vol. 95. Iss. 1. P. 71-88. DOI: 10.1111/geob.12010
38. Transformation of the Personnel Training System for Oil and Gas Projects in the Russian Arctic / E.Samylovskaya, R.E.Kudryavtseva, D.Medvedev et al. // Resources. 2020. Vol. 9. Iss. 11. № 137. DOI: 10.3390/resources9110137

39. State instruments for the development stimulation of Arctic resources regions / I.V.Filimonova, A.V.Komarova, L.V.Eder, I.V.Provornaya // The Fifth All-Russian Conference with International Participation POLAR MECHANICS, 9-11 October 2018, Novosibirsk, Russian Federation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018. Vol. 193. № 012069. DOI: 10.1088/1755-1315/193/1/012069
40. Abdulrahman A.O. Sustainability improvements in Egypt's oil & gas industry by implementation of flare gas recovery / A.O.Abdulrahman, D.Huisingh, W.Hafkamp // Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 98. P. 116-122. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.086
41. Carayannis E. Russian Arctic Offshore Oil and Gas Projects: Methodological Framework for Evaluating Their Prospects / E.Carayannis, A.Ilinova, A.Chanyшева // Journal of the Knowledge Economy. 2019. Vol. 11. P. 1403-1429. DOI: 10.1007/s13132-019-00602-7
42. Evaluation of the external forces affecting the sustainability of oil and gas supply chain using best worst method / W.N.K.Wan Ahmad, J.Rezaei, S.Sadaghiani, L.A.Tavasszy // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 153. P. 242-252. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.166
43. Lajeunesse A. The new economics of north american arctic oil // American Review of Canadian Studies. 2013. Vol. 43. Iss. 1. P. 107-122. DOI: 10.1080/02722011.2013.764915
44. Ilinova A. Algorithm for assessing the prospects of offshore oil and gas projects in the Arctic / A.Ilinova, A.Chanyшева // Energy Reports. 2020. Vol. 6. Supplement 2. P. 504-509. DOI: 10.1016/j.egyr.2019.11.110
45. Boute A. Off-grid renewable energy in remote arctic areas: An analysis of the russian far east // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 59. P. 1029-1037. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.034
46. Possibilities for the use of alternative energy to reduce power supply costs at far north fields / M.H.Gazeev, A.A.Silvanskij, O.V.Lenkova, S.G.Ignatenko // International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. Vol. 8. Iss. 2. P. 4445-4448. DOI: 10.35940/ijrte.B3346.078219
47. Kirsanova N.Y. The role and future outlook for renewable energy in the Arctic zone of Russian Federation / N.Y.Kirsanova, O.M.Lenkovets, A.Y.Nikulina // European Research Studies Journal. 2018. Vol. 21. Iss. 2. P. 356-368.
48. Perfilov V.A. Method of oil and gas fields construction on the continental shelf of the Arctic Seas / V.A.Perfilov, D.S.Parkhomenko, M.S.Pletnev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272. Iss. 2. № 022041. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022041
49. Life-cycle production optimization of hydrocarbon fields: Thermoeconomics perspective / R.Farajzadeh, S.S.Kahrobaei, A.H.De Zwart, D.M.Boersma // Sustainable Energy and Fuels. 2019. Vol. 3. Iss. 11. P. 3050-3060. DOI: 10.1039/c9se00085b
50. Naseri M. Unprecedented vessel-icing climatology based on spray-icing modelling and reanalysis data: A risk-based decision-making input for Arctic offshore industries / M.Naseri, E.M.Samuelsen // Atmosphere. 2019. Vol. 10. Iss. 4. DOI: 10.3390/ATMOS10040197
51. Agarkov S. Environmental status of continental shelf in the Pechora Sea: Analysis and recommendations / S.Agarkov, D.Matviishin, S.Gutman // 4th International Scientific Conference «Arctic: History and Modernity», 17-18 April 2019, Saint Petersburg, Russian Federation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. Vol. 302. № 012144. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012144
52. Bondur V.G. Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas areas and facilities // Izvestiya – Atmospheric and Ocean Physics. 2011. Vol. 47. P. 1007-1018. DOI: 10.1134/S0001433811090039
53. Climate change, future arctic sea ice, and the competitiveness of european arctic offshore oil and gas production on world markets / S.Petrick, K.Riemann-Campe, S.Hoog et al. // Ambio. 2017. Vol. 46. P. 410-422. DOI: 10.1007/s13280-017-0957-z
54. Sustainable maintainability management practices for offshore assets: A data-driven decision strategy / S.Zhang, Y.Yan, P.Wang et al. // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 237. № 117730. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117730
55. A review of life-cycle approaches coupled with data envelopment analysis within multi-criteria decision analysis for sustainability assessment of energy systems / M.Martin-Gamboa, D.Iribarren, D.García-Gusano, J.Dufour // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 150. P. 164-174. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.017
56. Fugelli E.M.G. Risk assessment and play fairway analysis in frontier basins: Part 2 – examples from offshore mid-Norway / E.M.G.Fugelli, T.R.Olsen // AAPG Bulletin. 2005. Vol. 89. № 7. P. 883-896. DOI: 10.1306/02110504030
57. Kaminskii V.D. The continental shelf of the russian arctic region: The state of the art in the study and exploration of oil and gas resources / V.D.Kaminskii, O.I.Suprunenko, V.V.Suslova // Russian Geology and Geophysics. 2011. Vol. 52. Iss. 8. P. 760-767. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.07.001
58. Cherepovitsyn A. An algorithm of management decision-making regarding the feasibility of investing in geological studies of forecasted hydrocarbon resources / A.Cherepovitsyn, D.Metkin, A.Gladilin // Resources. 2018. Vol. 7. Iss. 3. № 47. DOI: 10.3390/resources7030047
59. Mujkić Z. Sustainability and optimization of supply chains / Z.Mujkić, A.Qorri, A.Kraslawski // Operations and Supply Chain Management: An International Journal. 2018. Vol. 11. Iss. 4. P. 186-199. DOI: 10.31387/oscm0350213
60. Mohn K. Exploration economics in a regulated petroleum province: The case of the norwegian continental shelf / K.Mohn, P.Osmundsen // Energy Economics. 2008. Vol. 30. Iss. 2. P. 303-320. DOI: 10.1016/j.eneco.2006.10.011
61. Commitment to and preparedness for sustainable supply chain management in the oil and gas industry / W.N.K.Wan Ahmad, J.Rezaei, L.A.Tavasszy, M.P.de Brito // Journal of environmental management. 2016. Vol. 180. P. 202-213. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.04.056
62. Structure-integration relationships in oil and gas supply chains / S.M.Ebrahimi, S.C.L.Koh, A.Genovese, N.Kumar // International Journal of Operations & Production Management. 2018. Vol. 38. Iss. 2. P. 424-445. DOI: 10.1108/IJOPM-02-2016-0089
63. Farajzadeh R. Sustainable production of hydrocarbon fields guided by full-cycle exergy analysis // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. Vol. 181. № 106204. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.106204
64. Integration of strategic and quality management in oil and gas companies of Russia / T.Andreeva, E.Zhulina, L.Popova, N.Yashin // Calitatea. 2018. Vol. 19. Iss. 163. P. 81-84.
65. Rahm B.G. Toward strategic management of shale gas development: Regional, collective impacts on water resources / B.G.Rahm, S.J.Riha // Environmental Science & Policy. 2012. Vol. 17. P. 12-23. DOI: 10.1016/j.envsci.2011.12.004

66. Ignoring Indigenous peoples-climate change, oil development, and Indigenous rights clash in the Arctic National Wildlife Refuge / E.Zentner, M.Kecinski, A.Letourneau, D.Davidson // *Climatic Change*. 2019. Vol. 155. P. 533-544. DOI: 10.1007/s10584-019-02489-4
67. New Concepts of Hydrogen Production and Storage in Arctic Region / M.Dvoynikov, G.Buslaev, A.Kunshin et al. // *Resources*. 2021. Vol. 10. Iss. 1. № 3. DOI: 10.3390/resources10010003
68. Andreassen N. Arctic energy development in Russia – How «sustainability» can fit? // *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 16. P. 78-88. DOI: 10.1016/j.erss.2016.03.015
69. Mahmood M. Green governance and sustainability reporting in kazakhstan's oil, gas, and mining sector: Evidence from a former USSR emerging economy / M.Mahmood, N.Orazalin // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 164. P. 389-397. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.203
70. Amor-Esteban V. Useful information for stakeholder engagement: A multivariate proposal of an industrial corporate social responsibility practices index / V.Amor-Esteban, M.P.Galindo-Villardin, I.-M.Garcia-Sanchez // *Sustainable Development*. 2018. Vol. 26. Iss. 6. P. 620-637. DOI: 10.1002/sd.1732
71. Основные направления повышения эффективности хозяйственной деятельности в Арктической зоне Российской Федерации / С.А.Агарков, А.В.Козлов, С.В.Федосеев, А.Б.Тесля // *Записки Горного института*. 2018. Т. 230. С. 209-216. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.209
72. Olsen A.-H. Perceptions of public participation in impact assessment: A study of offshore oil exploration in greenland / A.H.Olsen, A.M.Hansen // *Impact Assessment and Project Appraisal*. 2014. Vol. 32. Iss. 1. P. 72-80. DOI:10.1080/14615517.2013.872842
73. Smits C.C.A. Oil and gas development in greenland: A social license to operate, trust and legitimacy in environmental governance / C.C.A.Smits, J. van Leeuwen, J.P.M. van Tatenhove // *Resources Policy*. 2017. Vol. 53. P. 109-116. DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.06.004
74. Silvestre B.S. A sustainability paradox? Sustainable operations in the offshore oil and gas industry: The case of Petrobras / B.S.Silvestre, F.A.P.Gimenes // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 142. P. 360-370. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.215
75. Sidortsov R. Benefits over risks: A case study of government support of energy development in the russian north // *Energy Policy*. 2019. Vol. 129. P. 132-138. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.01.067
76. Environmental and economic damage from the development of oil and gas fields in the arctic shelf of the Russian Federation / M.Kruk, A.Semenov, A.Cherepovitsyn, A.Nikulina // *European Research Studies Journal*. 2018. Vol. 21. Iss. 2. P. 423-433.
77. Babicky P. Rethinking the foundations of sustainability measurement: the limitations of the Environmental Sustainability Index (ESI) // *Social Indicators Research*. 2013. Vol. 113. P.133-157. DOI: 10.1007/s11205-012-0086-9
78. Wesseh Jr P.K. Carbon taxes, industrial production, welfare and the environment / P.K.Wesseh Jr, B.Lin, P.Atsagli // *Energy*. 2017. Vol. 123. P. 305-313. DOI: 10.1016/j.energy.2017.01.139
79. Van den Bergh J.C.J.M. Monetary valuation of the social cost of CO₂ emissions: a critical survey / J.C.J.M.van den Bergh, W.J.W.Botzen // *Ecological Economics*. 2015. Vol. 114. P. 33-46. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.03.015
80. Shvarts E.A. Assessment of environmental responsibility of oil and gas companies in Russia: the rating method / E.A.Shvarts, A.M.Pakhalov, A.Y.Knizhnikov // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 127. P. 143-151. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.021
81. Lombera J.T.S.J. Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability / J.T.S.J.Lombera, J.C.Rojo // *Construction and Building Materials*. 2010. Vol. 24. Iss. 4. P. 438-447. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.019
82. How to monitor environmental pressures of a circular economy: An assessment of indicators / H.Helander, A.Petit-Boix, S.Leipold, S.Bringezu // *Journal of Industrial Ecology*. 2019. Vol. 23. Iss. 5. P. 1278-1291. DOI: 10.1111/jiec.12924
83. Green economy and related concepts: An overview / E.Loiseau, L.Saikka, R.Antikainen et al. // *Journal of cleaner production*. 2016. Vol. 139. P. 361-371. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.024

Авторы: А.Е.Череповицын, д-р экон. наук, профессор, alekseicherepov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0472-026X> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), П.С.Цветков, канд. экон. наук, доцент, Tsvetkov_PS@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3049-7893> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), О.О.Евсеева, аспирант, olgaevs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1002-8061> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 29.07.2020.

Статья принята к публикации 29.03.2021.