

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 4 / 2024, Vol. 16, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/27NZVN424.pdf>

DOI: 10.15862/27NZVN424 (<https://doi.org/10.15862/27NZVN424>)

2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гомес, А. Ш. С. Анализ современного состояния разработки месторождений сланцевого газа в Канаде и в мире / А. Ш. С. Гомес, С. Г. А. Машкареньяш, В. А. Щерба // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/27NZVN424.pdf> DOI: 10.15862/27NZVN424

For citation:

Gomes A.Ch.S., Mascarenhas S.G.A., Shcherba V.A. Analysis of the current state of shale gas field development in Canada and around the world. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(4): 27NZVN424. Available at: <https://esj.today/PDF/27NZVN424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/27NZVN424

УДК 622.276

Гомес Антониу Шикуну Суами

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия
Аспирант кафедры «Недропользования и нефтегазового дела»

E-mail: engchicunagomes@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5217-4665>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=958737

Машкареньяш Да Силва Грасиаш Алсидиу

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия
Аспирант кафедры «Недропользования и нефтегазового дела»

E-mail: alcidio@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9026-1481>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1253374

Щерба Владимир Афанасьевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,
Москва, Россия

Доцент кафедры «Экологии и природопользования»

Кандидат геолого-минералогических наук

E-mail: shcherba_va@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=666323

Анализ современного состояния разработки месторождений сланцевого газа в Канаде и в мире

Аннотация. В данной обзорной статье рассматривается современное состояние разработки месторождений сланцевого газа в Канаде и в мире, с акцентом на технологические, экономические и экологические аспекты добычи. Исследование включает анализ текущих тенденций сланцевой революции, перспектив развития отрасли и ключевых проблем, с которыми сталкиваются страны при освоении этих месторождений. В статье уделяется особое внимание инновационным технологиям, применяемым в процессе добычи сланцевого газа, включая горизонтальное бурение и гидравлический разрыв пласта, которые значительно изменили энергетический ландшафт. Экономическая эффективность и конкурентоспособность добычи сланцевого газа также рассматриваются, что важно для понимания её влияния на мировые энергетические рынки. Проведен обзор экологических последствий, связанных с добычей сланцевого газа, таких как загрязнение водных ресурсов, выбросы парниковых газов

и другие негативные воздействия на окружающую среду, что подчеркивает необходимость разработки и внедрения устойчивых технологий. Важной частью статьи является систематический анализ мирового запаса и степени разработки месторождений сланцевого газа в ключевых странах, таких как Соединенные Штаты Америки и Канада. Опыт в разработке месторождений сланцевого газа в Канаде, особенно в провинциях Альберта и Британская Колумбия, анализируется в контексте мировых тенденций, что позволяет выявить как успехи, так и проблемы, связанные с добычей сланцевого газа в различных регионах. Таким образом, статья предоставляет целостное понимание текущего состояния и будущих направлений развития индустрии сланцевого газа, основываясь на данных из различных источников и проводя сравнительный анализ технологических, экономических и экологических факторов, влияющих на эту быстро развивающуюся отрасль.

Ключевые слова: сланцевый газ; разработка месторождений; горизонтальное бурение; гидравлический разрыв пласта; низкопроницаемый коллектор; Канада; природный газ

Введение

Сланцевый газ — это природный газ (в основном метан), который плотно заключен в осадочной породе с низкой проницаемостью, называемой сланцем. До недавнего времени специалисты нефтегазодобывающей отрасли обычно рассматривали эти породы как нечто мешающее — продуктивные песчаники и известняки, которые необходимо учитывать при бурении скважин. Однако теперь геологи и инженеры начали по-новому оценивать особый тип сланцев — органически богатые сланцы. При наличии соответствующих характеристик, такие сланцы могут быть не только материнскими породами углеводородов, но и коллекторами, из которых можно добывать углеводороды.



Рисунок 1. Ресурсный треугольник (составлено авторами по данным [1])

Канадским геологом Питером Тергисоном¹ была предложена модель ресурсного треугольника, которая изображена на рисунке 1. Это концепция, которая используется для иллюстрации различных типов углеводородных ресурсов и технологий, необходимых для их добычи, в зависимости от их экономической рентабельности и сложности разработки.

¹ Le, M.T., 2018. An assessment of the potential for the development of the shale gas industry in countries outside of North America. Heliyon 4. — 2018. DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e00516. URL: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2817%2931254-9>.

В 1981 году компания Mitchell Energy & Development Corporation начала разработку месторождения сланцевого газа Барнетт, пробуравив скважину с целью добычи газа из сланцев. Однако компания не сразу увидела результаты своих усилий: потребовалось 20 лет передовых разработок в области бурения и закрытия скважин, а также рост цен на топливно-энергетические ресурсы, чтобы сделать месторождение экономически рентабельным [2].

С 1992 года началось использование сочетания вертикального и горизонтального бурения. Первым экспериментально-промышленным газосланцевым месторождением стал Барнетт, расположенный в штате Техас, США. Прежде чем эта перспективная площадь была признана пригодной для промышленной разработки, необходимо было провести множество экспериментов в течение долгих 20 лет. Этот успех стал возможным благодаря разработке и внедрению двух ключевых технологий: гидравлического разрыва пласта и бурения горизонтальных скважин [3].

В начале 2000-х годов масштабная добыча сланцевого газа в США, известная как «сланцевая революция», была запущена Д.П. Митчеллом и Томом Л. Уордом. Компания Devon Energy стала первопроходцем в этой области, начав разработку месторождения Барнетт и пробуравив первую горизонтальную скважину в 2002 году. К 2009 году США стали мировым лидером в добыче газа, превысив 745,3 миллиона кубических метров, при этом более 40 % извлекаемого газа приходилось на нетрадиционные источники, такие как метан из угольных пластов и сланцевый газ [4].

Материалы и методы исследований

В процессе подготовки данной обзорной статьи были использованы различные источники данных, включая научные статьи, отчеты компаний, статистические данные государственных агентств и международных организаций. Основное внимание было уделено сбору и анализу данных, относящихся к технологиям добычи, экономической эффективности и экологическим аспектам разработки месторождений сланцевого газа. Для проведения сравнительного анализа использовались как количественные, так и качественные методы, позволяющие получить всестороннее представление о текущем состоянии и перспективах отрасли.

Для отбора месторождений, включенных в исследование, были использованы несколько ключевых критериев. Во-первых, географическое расположение месторождений, так как оно существенно влияет на условия добычи и применяемые технологии. Во-вторых, стадия разработки месторождения, поскольку на разных этапах могут применяться различные методы и подходы. Наконец, учитывались технологические характеристики месторождений, такие как глубина залегания сланцевых пластов, состав породы и другие геологические особенности. В качестве примеров ключевых месторождений были рассмотрены наиболее значимые и изученные месторождения в Канаде и мире, включая месторождения в провинциях Альберта, Британская Колумбия, а также месторождения в США и Китае.

Методы анализа и оценки, использованные в данной статье, включают рассмотрение технологий добычи и эксплуатации сланцевого газа, таких как гидравлический разрыв пласта (фрекинг) и горизонтальное бурение. Также был проведен анализ экономической эффективности этих технологий, с учетом факторов, влияющих на стоимость и рентабельность добычи. Важной частью исследования стало изучение экологических последствий разработки месторождений сланцевого газа, включая возможные загрязнения водных ресурсов, выбросы парниковых газов и другие негативные воздействия на окружающую среду. Были рассмотрены меры, направленные на снижение этих воздействий и улучшение экологической устойчивости отрасли.

Методологические подходы включали проверку качества данных, использованных в исследовании, чтобы обеспечить достоверность и адекватность полученной информации. Для моделирования и прогнозирования развития месторождений использовались математические модели, позволяющие оценить потенциал и долгосрочную устойчивость разработки сланцевого газа. Эти модели учитывали различные сценарии развития отрасли, экономические и экологические факторы, а также возможные изменения в регуляторной и политической среде.

Этические соображения и методы управления рисками играют важную роль в разработке месторождений сланцевого газа. В статье обсуждаются основные этические дилеммы, связанные с добычей сланцевого газа, такие как влияние на местные сообщества и возможные риски для здоровья населения. Рассматриваются меры по управлению социальными и экологическими рисками, включая политику корпоративной социальной ответственности и соблюдение стандартов устойчивого развития. Также анализируется влияние политических и правовых рамок на развитие отрасли, включая регулирование деятельности компаний, соблюдение экологических норм и международные соглашения.

Таким образом, раздел «Материалы и методы» данной обзорной статьи представляет собой комплексный подход к анализу современного состояния разработки месторождений сланцевого газа в Канаде и в мире, охватывающий широкий спектр аспектов, от технологий добычи и экономической эффективности до экологических и этических соображений.

Результаты исследований и их обсуждение

Добыча сланцевого газа стала важной частью мировых поставок природного газа, изменив энергетический ландшафт за последние несколько десятилетий. Эта трансформация была вызвана технологическими достижениями, экономическими соображениями и стремлением к энергетической безопасности.

В своем ежегодном обзоре энергетики на 2018 год Управление энергетической информации (EIA)² США было установлено, что около 80 % всех доказанных запасов содержат технически извлекаемые запасы сланцевого газа в десяти странах. Примечательно, что эти страны занимают более 50 % площади земной суши (исключая Антарктиду) и являются более или менее развитыми, со сравнительно высоким уровнем разведанности минеральных ресурсов. Со временем ситуация может измениться, и возможно открытие новых месторождений. В 2015 году агентство опубликовало энергетический обзор³, в котором были представлены оценки технически извлекаемых запасов сланцевого газа по всем регионам мира (как показано в таблице 1). Общая оценка этих запасов составила 197,073 млрд м³.

В недавнем отчете, опубликованном IHS Markit⁴, указывается, что в период 2007–2017 годов добыча природного газа в США выросла более чем на 40 %, в отличие от роста менее чем на 1% в течение предыдущего десятилетия. Статистический обзор мировой энергетики компании BP сообщает, что в 2017 году на природный газ приходилось «рекордные» 23,4 % мирового потребления энергии. Добыча природного газа в США вырастет примерно на 59 % с 2017 по 2050 год по так называемому «базовому сценарию».

² World Shale Resource Assessments. U.S. Energy Information Administration. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/> (дата обращения 21.04.2024 г).

³ Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Canada. U.S. Department of Energy Information Administration (EIA). Washington DC, USA. — 2015. — 66 с. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/overview.pdf>.

⁴ Yergin, D., & Andrus, S. The Shale Gale turns 10: A powerful wind at America's back. London, U.K.: IHS Markit. 2018. — 75 с. URL: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/Shale-Gale-turns10-powerful-wind-Americas-back.pdf>.

Таблица 1

Оценка технически извлекаемых запасов сланцевого газа в мире

Регион/страна	Технически извлекаемые запасы сланцевого газа, трлн м ³	Регион/страна	Технически извлекаемые запасы сланцевого газа, трлн м ³
Северная Америка		Европа	
США	17,63	Россия	8,06
Канада	16,19	Франция	3,88
Мексика	15,42	Германия	0,48
Южная Америка		Нидерланды	0,71
Венесуэла	4,74	Норвегия	0,28
Колумбия	12,24	Великобритания	0,71
Аргентина	22,68	Дания	0,90
Бразилия	6,93	Швеция	0,05
Чили	1,37	Польша	4,13
Уругвай	0,76	Турция	0,66
Парагвай	2,12	Украина	3,62
Боливия	1,08	Другие	0,5
Австралия		Африка	
Австралия	12,17	ЮАР	11
Азия		Ливия	3,45
Китай	3,22	Египет	2,83
Индия	2,72	Алжир	19,88
Пакистан	2,97	Весь мир	197,1

Составлено авторами по данным⁵

В целом ожидается, что добыча и потребление природного газа будут продолжать расти. Ожидается, что эта эволюция также будет оказывать постоянное влияние на рынок СПГ.

Разработка низкопроницаемых коллекторов без гидравлического разрыва пласта (ГРП) является убыточной разработкой. Однако, одна операция ГРП, проводимая в вертикальном стволе скважины, не способен вскрыть достаточное количество пор и трещин, содержащих углеводороды, чтобы окупить затраты на бурение скважин и реализацию соответствующих геологических и технических контрмер. Решением этой проблемы стало совмещение горизонтальных участков длиной в сотни метров с наклонно-направленным бурением методом гидроразрыва пласта.

Работы [3; 5–7] Т.В. Арутюнова и др. посвящены изучению технологических особенностей при разработке месторождений сланцевого газа. Соглашаясь с мнением авторов, технологии, применяемые для добычи сланцевого газа, можно классифицировать на три категории: направленное и горизонтальное бурение, гидравлический разрыв пласта (ГРП), а также мониторинг гидроразрыва и развития трещин (рис. 2).

По данным отчета Форум стран-экспортеров газа (ФСЭГ)⁶, в 2023 году мировая добыча природного газа выросла на 0,8 % и составит 4,08 трлн куб. метров. Этот рост преимущественно произошел в Северной Америке, на Ближнем Востоке и в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в

⁵ World Shale Resource Assessments. U.S. Energy Information Administration. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/> (дата обращения 21.04.2024 г).

Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Canada. U.S. Department of Energy Information Administration (EIA). Washington DC, USA. — 2015. — 66 с. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/overview.pdf>.

⁶ Annual Gas Market Report 2024. Gas Exporting Countries Forum (GECF). GECF Headquarters. Doha, Qatar. — 2024. — 96 с. URL: <https://www.gecf.org/resources/files/events/gecf-unveils-the-annual-gas-market-report-2024/gecf-agmr-2024.pdf>.

то время как в регионах Евразии, Европы и Латинской Америки и Латинской Америки наблюдался спад, а объем производства в Африке оставался стабильным по сравнению с предыдущим годом. Кроме того, страны, не входящие в ФСЭГ, по оценкам, увеличили добычу газа на 2,3 %, достигнув 2 390 млрд куб. м.

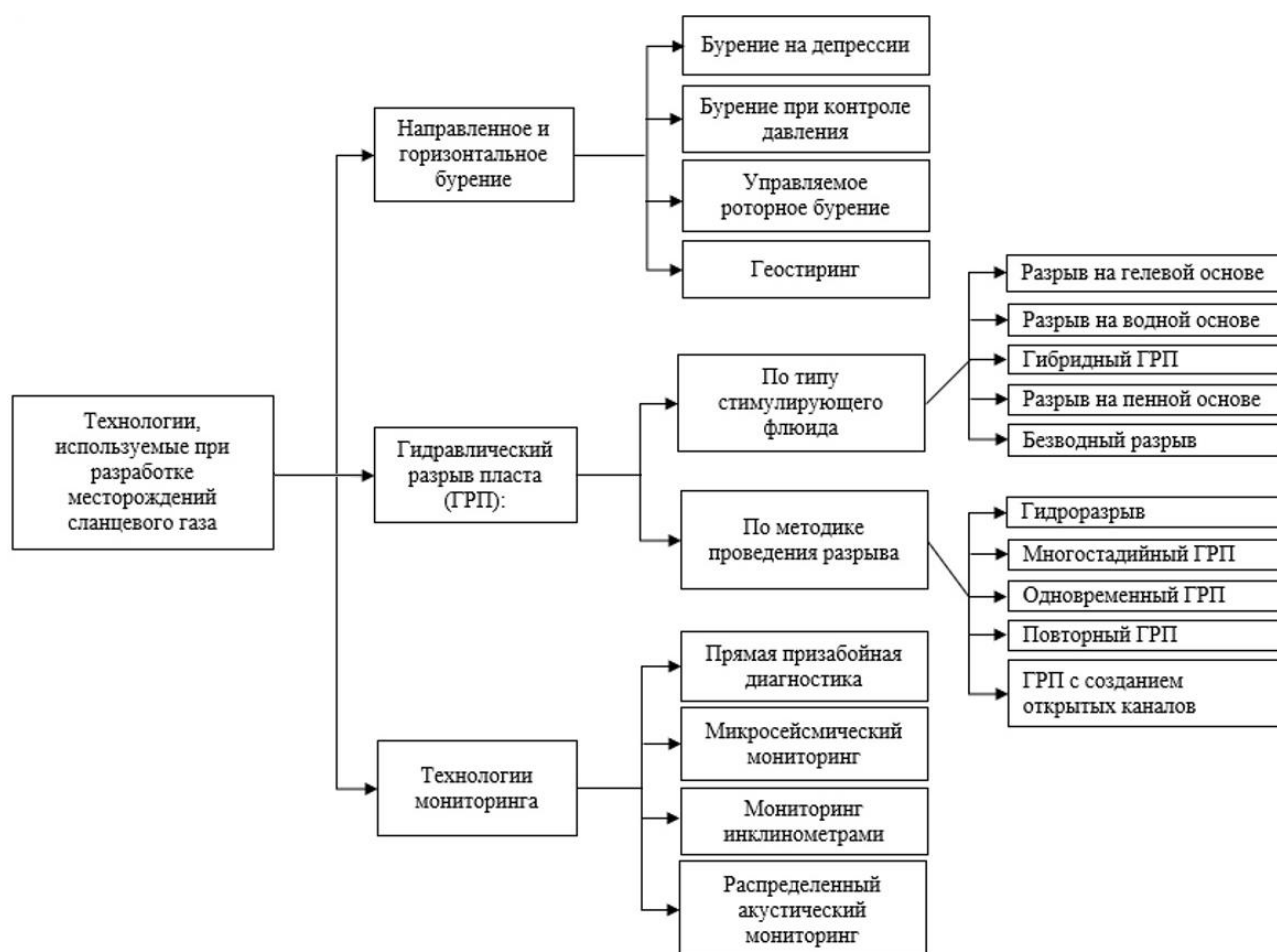


Рисунок 2. Классификация технологий, используемых при добыче сланцевого газа (составлено авторами по данным [6–8])

Как показано в рисунке 3, среди регионов в Северной Америке и на Ближнем Востоке зафиксирован наиболее значительный рост добычи газа — прирост составил 4,1 % и 2,8 % соответственно. Напротив, в Евразии и Европе произошло сокращение добычи газа, снизившись на 28 млрд куб. м и 19 млрд куб. м соответственно. На уровне стран наибольший прирост добычи газа зафиксирован в США, Китае и Канаде — на 42, 9 и 8 млрд куб. м соответственно.⁶

В 2024 году, на фоне продолжающегося восстановления спроса на газ, ожидается увеличение мировой добычи газа примерно на 2 %. Ожидается, что этот рост будет обусловлен значительным увеличением добычи в Евразии, на Ближнем Востоке и в Северной Америке с приростом в 33, 23 и 27 млрд куб. м соответственно. Эта тенденция к росту будет подкреплена инициированием новых газовых проектов. В среднесрочной перспективе Северная Америка и Ближний Восток, согласно прогнозам, внесут основной вклад в глобальное увеличение добычи газа, причем Африка также потенциально может сыграть значительную роль. Прогнозируется, что рост добычи газа будет преимущественно обеспечен за счет развития нетрадиционных источников газа [10].

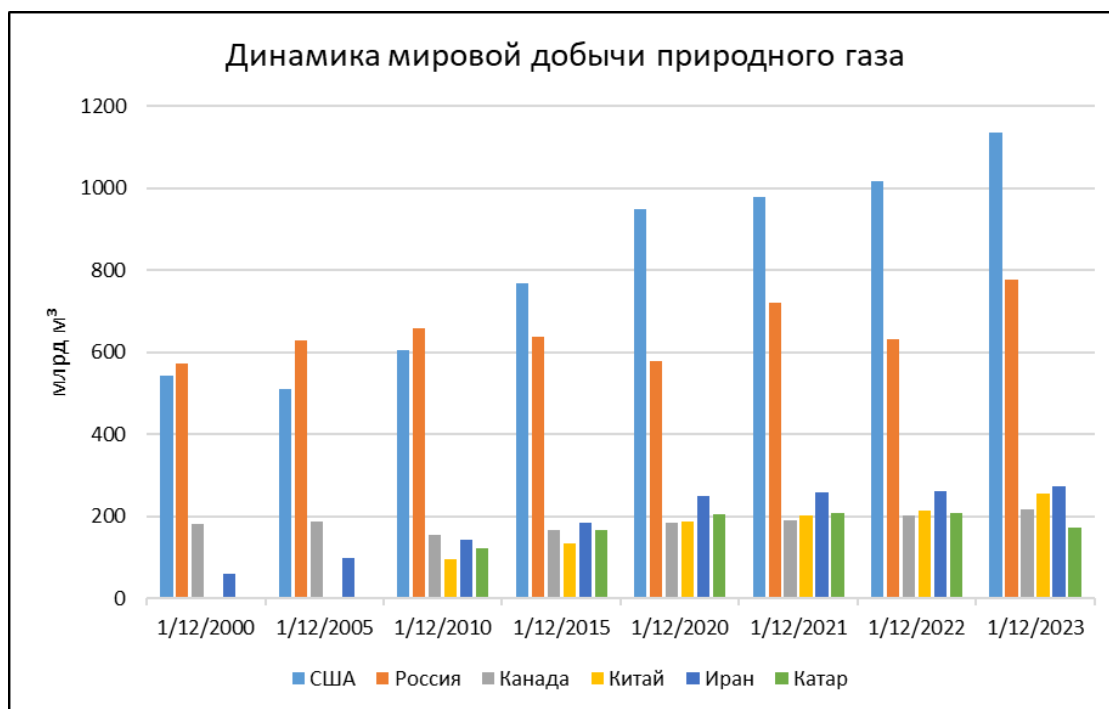


Рисунок 3. Динамика мировой добычи природного газа (составлено авторами по данным [9; 10])

Природный газ играет важную роль в канадской экономике, удовлетворяя более 35 процентов энергетических потребностей Канады и являясь крупным источником экспортных доходов. Он широко используется на жилых, коммерческих и промышленных рынках и, в меньшей степени, для производства электроэнергии. Природный газ сгорает более чисто, чем другие виды ископаемого топлива, выделяя меньше загрязняющих веществ в воздух и меньше углекислого газа (примерно вдвое меньше, чем уголь), тем самым внося меньший вклад в выбросы парниковых газов на единицу энергии.

Сегодня Канада является четвертым по величине добычи природного газа в мире и шестым по величине экспортером. Восемь провинций и территорий (Британская Колумбия, Альберта, Саскачеван, Онтарио, Нью-Брансуик, Новая Шотландия, Юкон и Северо-Западные территории) производят природный газ, причем три четверти его добычи сосредоточено в Альберте и Британской Колумбии. По оценкам, суммарные геологические запасы газа в этих бассейнах составляют 31,3 трлн м³, из которых 10,9 трлн м³ считаются технически извлекаемыми [11; 12]. На рисунке 4 показаны основные бассейны сланцевого газа и сланцевой нефти в Канаде.

В исследовании, проведенном Управлением энергетической информации США³ в 2024 году, перечислены целевые сланцевые отложения в бассейнах Хорн-Ривер, Кордова и Лэйрд, датируемые девонским периодом, которые активно разрабатывались. Основные месторождения включают Мусква (Muskwa), Оттер Парк (Otter Park), Эви (Evie), Клуа (Klua) и Лоуэр-Беса-Ривер (Lower Besa River), где несколько компаний успешно вели добычу. В бассейне Дип находятся триасовые сланцевые отложения Монтни (Montney Shale) и Дойг-Фосфейт (Doig Phosphate). В настоящее время Монтни добывает около 130,7 млн м³ природного газа в день, или около одной трети всей добычи газа в Канаде [12].

В таблице 2 представлена более подробная региональная таблица ресурсов сланцевого газа и нефти Канады. По мере проведения новых бурений и получения более подробной информации об этих крупных, развивающихся сланцевых месторождениях, оценки размеров их геологических ресурсов и их извлекаемости, несомненно, изменятся.

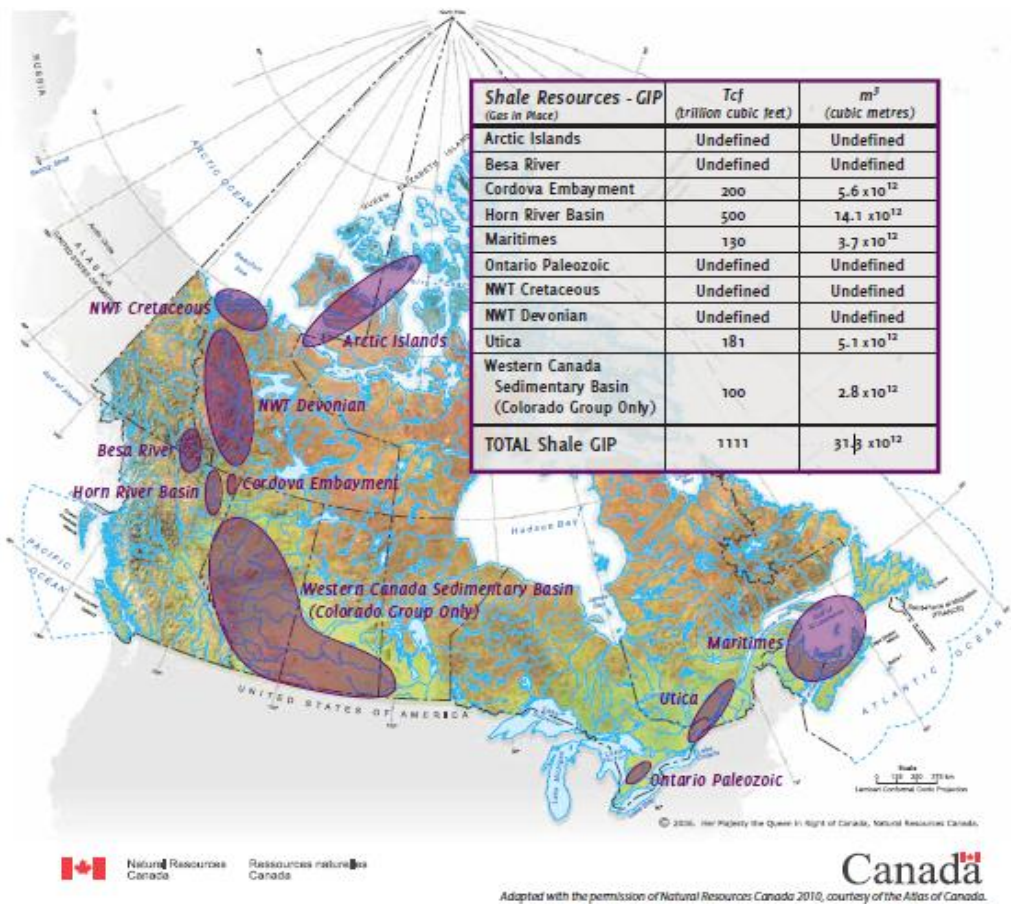


Рисунок 4. Распределение основных бассейнов сланцевого газа в Канаде [11]

Таблица 2

Ресурсы основных сланцевых месторождений Канады

Провинция	Месторождение / залежь	Ресурсы		Технически извлекаемые запасы	
		нефть/ конденсат, млн баррелей	газ, млрд м³	нефть/ конденсат, млн баррелей	газ, млрд м³
Британская Колумбия / Северо-Западные территории	Хорн-Ривер (Мусква / Оттер Парк)	—	10 631	—	2 658
	Хорн-Ривер (Эви / Клуа)	—	4 366	—	1 090
	Кордова (Мусква / Оттер Парк)	—	2 304	—	580
	Лиард (Нижний Беса Ривер)	—	2 312	—	820
	Дип (Доиг Фосфат)	—	35	—	10
	Промежуточный итог	—	30 045	—	7 030
Альберта	Альберта (Банф / Экшоу)	10 500	145	320	8
	Е/З Шейл (Дуверней)	66 800	1 883	4 710	533
	Дип Шейл (Нордегг)	19 800	2 040	4 710	535
	Северо-Западная Альберта (Мусква)	42 400	2 090	10 870	535
	Южная Альберта (Колорадо)	100	148	10	8
	Промежуточный итог	139 500	28 504	20 620	1 619
Саскачеван / Манитоба	Уиллистон (Баккен)	22 500	453	2 240	8
Квебек	Аппалачский Складчатый Пояс (Ютика)	—	4 393	—	880
Новая Шотландия	Виндзор (Хортон Блафф)	—	3 400	—	96
Итог		162 000	68 334	40 170	16 224

Составлено авторами по данным [1; 11; 12]

В Западной Канаде также имеются богатые и обширные по площади месторождения ресурсов Монтни и Дойг (как в Британской Колумбии, так и в Альберте), которые классифицируются в первую очередь как коллекторы с плотным песком и алевролитом. Таким образом, эти два важных ресурса трудноизвлекаемого газа не включены в данную оценку ресурсов сланцевого газа и сланцевой нефти. Кроме того, в Канаде имеется ряд дополнительных углеводородосодержащих алевролитовых и сланцевых формаций, которые не включены в количественную часть данного исследования ресурсов либо из-за низкого содержания органических веществ (сланец Уилрих в Альберте), либо из-за ограниченности информации (сланец Фредерик Брук в Нью-Брансуик) [13; 14].

На востоке Канады, было выявлено несколько перспективных участков с газоносными сланцами, однако они изучены не так хорошо, как аналогичные территории на западе страны. Одним из таких перспективных участков является канадская часть сланцевой свиты Ютика позднеордовикского возраста, расположенная в Аппалачском складчатом поясе. Эта свита простирается и на территорию США, и её геологические запасы газа составляют 4,4 трлн м³, из которых 877 млрд м³ являются технически извлекаемыми. На данный момент свита Ютика была вскрыта лишь несколькими скважинами, которые при испытаниях давали приток газа, но с низким дебитом [1; 8].

Озерные сланцевые отложения на месторождении Хортон-Блафф в бассейне Виндзор охватывают значительно меньшую площадь и содержат геологические запасы газа объемом 255 млн м³, из которых 56,6 млрд м³ считаются технически извлекаемыми. К западу, в бассейне Маритаймс в Нью-Брансуике, находится месторождение Фредерик-Брук, которое в настоящее время находится на ранней стадии геологоразведочных и оценочных работ [15; 16].

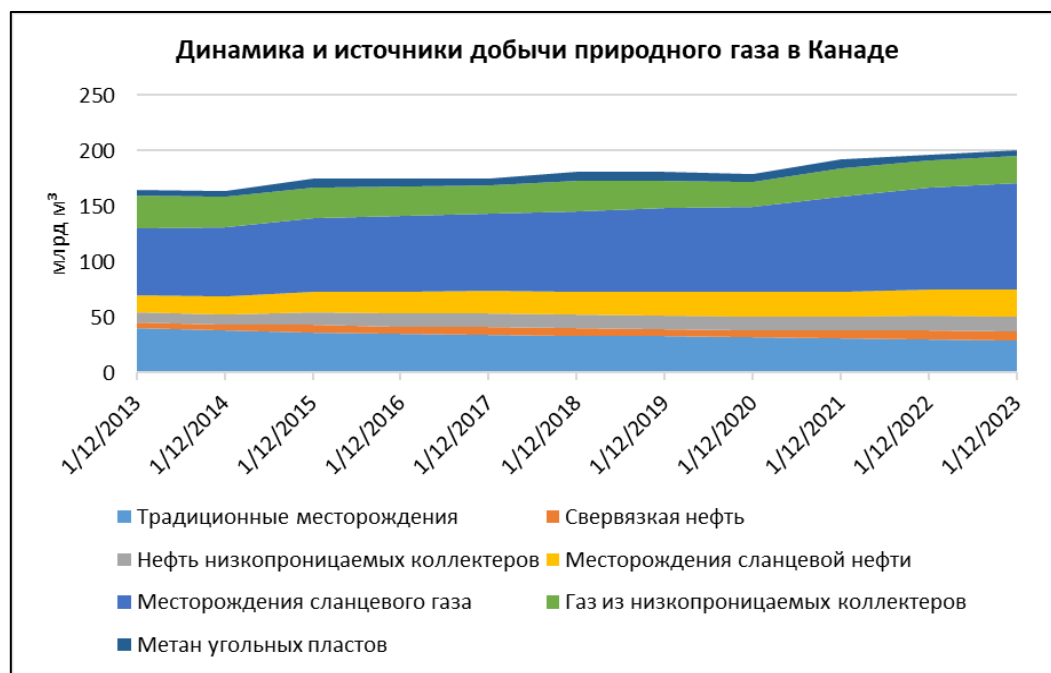


Рисунок 5. Динамика мировой добычи природного газа (составлено авторами по данным [9; 10; 18])

В 2021 году около 540 компаний эксплуатировали газовые скважины на западе Канады. Однако более половины продукции в 2021 году пришлось всего на восемь операторов. Большинство скважин на низкопроницаемых и сланцевых месторождениях обходятся дороже, потому что они глубже, имеют длинные горизонтальные участки и потому, что многостадийный разрыв пласта обходится дорого. Более мелкие операторы, как правило, не могут себе позволить бурить или покупать эти более дорогостоящие новые скважины, и в

результате лишь несколько компаний эксплуатируют большую часть добычи. Небольшие компании в западной Канаде, как правило, владеют относительно недорогими вертикальными газовыми скважинами и имеют довольно небольшие объемы добычи. В целом, более дорогие скважины обеспечивают гораздо более высокие объемы добычи, в результате чего себестоимость единицы добычи газа из дорогих скважин намного ниже, чем добыча газа из недорогих скважин.

В 2006–2008 годах использование многостадийного гидроразрыва пласта способствовало увеличению добычи сланцевого и природного газа в Канаде, а также сланцевого газа и газа, добываемого из трудноизвлекаемой нефти в США. По состоянию на 2024 год добыча газа снова достигнет рекордного уровня в обеих странах. Добыча газа в настоящее время является относительно недорогой, а запасы газа настолько велики, что при некоторых сценариях добыча может продолжать расти и в будущем [1; 17].

Как показано в рисунке 5, согласно данным отчета Форума стран-экспортеров газа⁶ и Канадский регулятор энергетики⁷, в 2023 году, добыча газа в Канаде выросла на 4 % и достигла 188,5 млрд куб. м. Добыча сланцевого газа стабильно росла с 2010 года и к 2023 году превысила 125 млрд куб. м, что составляет две трети от общего объема добычи в стране.

Канада оказалась одной из стран, которые извлекли выгоду из опыта сланцевой революции в США и стремились повторить этот успех. В то же время добыча традиционного газа значительно сократилась и составила 35 млрд куб. м в 2023 году. На региональном уровне добыча газа в провинции Альберта увеличилась на 2 % и достигла 113 млрд куб. м, что составляет 61 % от общего объема добычи газа в Канаде.

Почти вся добыча газа в Канаде происходит в провинциях Альберта и Британская Колумбия. В обеих провинциях растет доля добычи газа из плотных месторождений. Рост добычи также был поддержан растущим спросом за последние два десятилетия, особенно со стороны нефтеносных песков и производства электроэнергии в Альберте. Будущий рост добычи может быть поддержан растущим спросом на газ за счет производства водорода, аммиака и экспорта СПГ.

Два вопроса, вызывающие особую озабоченность при разработке месторождений сланцевого газа, — это водные ресурсы, особенно подземные воды, и выбросы парниковых газов. Оба связаны с целостностью скважин. Многие операционные процедуры, используемые при добыче сланцевого газа, аналогичны процедурам, применяемым при добыче традиционной нефти и газа. Таким образом, опыт отрасли имеет значение для понимания этих вопросов [4; 14; 19].

Утечка природного газа из-за неправильно сформированных, поврежденных или изношенных цементных уплотнений является давно признанной, но нерешенной проблемой, которая продолжает ставить перед инженерами новые задачи. Протекающие скважины, вызванные неправильно установленными цементными уплотнениями, повреждениями от повторных операций гидроразрыва или ухудшением цемента со временем, могут создать пути для загрязнения подземных вод и увеличения выбросов парниковых газов. Проблема целостности скважин касается всех типов скважин, включая водяные и традиционные газовые или нефтяные скважины. Несколько факторов делают долгосрочные последствия утечек более значительными для добычи сланцевого газа, чем для традиционной добычи нефти и газа. Это большее количество скважин, необходимых для добычи сланцевого газа; разнообразные химические вещества, используемые в операциях гидроразрыва; потенциальная разработка

⁷ Market Snapshot: Western Canadian Natural Gas Production Reaches a Record High in 2022. Canada Energy Regulator. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/market-snapshots/2023/market-snapshot-western-canadian-natural-gas-production-reaches-a-record-high-in-2022.html> (дата обращения 6.04.2024 г).

сланцевых газовых ресурсов в сельских и пригородных районах, которые зависят от подземных вод; и, возможно, сам процесс повторных гидроразрывов [20–22].

Заключение

В результате анализа современных тенденций и технологий разработки месторождений сланцевого газа, можно сделать несколько ключевых выводов.

Во-первых, сланцевая революция значительно изменила энергетический ландшафт, особенно в таких странах, как США и Канада, благодаря инновациям в технологиях горизонтального бурения и гидравлического разрыва пласта. Эти достижения позволили эффективно добывать газ из ранее недоступных низкопроницаемых/сланцевых формаций, обеспечив значительный прирост добычи природного газа.

Во-вторых, Канада занимает одну из ведущих позиций в мире по добыче сланцевого газа, сосредотачивая основные усилия на разработке крупных месторождений в провинциях Альберта и Британская Колумбия. Однако дальнейшее развитие отрасли требует усиленного внимания к вопросам регулирования и социальной ответственности, чтобы минимизировать негативные последствия и обеспечить долгосрочную устойчивость.

В-третьих, оценка экологических воздействий затруднена из-за недостатка информации по многим ключевым вопросам, особенно по проблеме утечки жидкостей из недостаточно герметичных скважин. Если скважины можно герметизировать, риск для подземных вод считается минимальным, хотя мало что известно о мобильности и судьбе химических веществ, используемых при гидравлическом разрыве, и сточных вод в подземных слоях.

Таким образом, будущее «сланцевой революции» будет определяться балансом между экономической рентабельностью и экологической устойчивостью. Необходимость в инновациях и строгом регулировании остается актуальной для обеспечения устойчивого развития и минимизации негативных воздействий на окружающую среду и общество.

ЛИТЕРАТУРА

1. Le, M.T., 2018. An assessment of the potential for the development of the shale gas industry in countries outside of North America. Heliyon 4. — 2018. DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e00516. URL: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2817%2931254-9>.
2. Сидорова Л.П., Султандрова Е.Е., Стригунова Н.Е. Сланцевый газ и сланцевая нефть. Получение и экологический ущерб. — Свердловск: УрФУ. — 2016. — 174 с. URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13530/1/Sidorova_3_SN.pdf.
3. Ирхин Р.П. Актуальность разработки залежей сланцевой нефти на месторождениях Западной Сибири и перспективы нефтесервисных компаний // Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. — 2013. № 20. С. 717–718. URL: <https://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C11/V2/349.pdf>.
4. Соловьянов А.А. Экологические последствия разработки месторождений сланцевого газа. — М.: Первое экоиздательство «Зеленая книга», 2014. — 60 с.
5. Кочергин М.А. Технологические подходы к разработке ресурсов сланцевого газа // Отраслевые научные и прикладные исследования: Науки о земле. — 2018. № 3. — С. 159–177. URL: <http://id-yug.com/images/id-yug/SET/2018/3/2018-3-158-177.pdf>.

6. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Характеристика пород коллекторов сланцевого газа / Материалы восьмой международной научной конференции «ТТС-16»: «Технические и технологические системы». — Краснодар: Издательский Дом — Юг, 2016. — С. 253–261.
7. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Технология добычи сланцевого газа и влияние на экологию / Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. — Т. II. — С. 68–70. URL: <https://ecoportal.su/public/industry/view/564.html>.
8. The Annual Statistical Bulletin (ASB) 2023. Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). Vienna, Austria. — 2024. — 100 с. URL: https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/ASB_2023.pdf.
9. Annual Gas Market Report 2024. Gas Exporting Countries Forum (GECF). GECF Headquarters. Doha, Qatar. — 2024. — 96 с. URL: <https://www.gecf.org/files/events/gecf-unveils-the-annual-gas-market-report-2024/gecf-agmr-2024.pdf>.
10. Statistical Review of World Energy 2023 (72nd edition). Energy Institute (EI). London, UK. — 2023. — 64 с. URL: https://www.energyinst.org/data/assets/pdf_file/0004/1055542/EI_Stat_Review_PDF_single_3.pdf.
11. Understanding Shale Gas in Canada. Canadian Society of Unconventional Gas (CSUG). Calgary, AB, Canada. — 2021. — 20 с. URL: https://oilandgasinfo.ca/wp-content/uploads/2021/03/shale_gas_English_Web.pdf.
12. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Canada. U.S. Energy Information Administration (EIA). Washington DC, USA. — 2015. — 66 с.
13. Natural Resources Canada (2022). Shale and Tight Resources. Government of Canada. [Электронный ресурс]. URL: <https://natural-resources.canada.ca/energy/energy-sources-distribution/natural-gas/shale-tight-resources-canada/17669> (дата обращения 21.05.2024 г).
14. Environmental Impacts of Shale Gas Extraction in Canada. The Expert Panel on Harnessing Science and Technology to Understand the Environmental Impacts of Shale Gas Extraction. Council of Canadian Academies. Ottawa, Canada. — 2014. — 292 с. URL: https://cca-reports.ca/wp-content/uploads/2018/10/shalegas_execsummen.pdf.
15. Sakiru, A.S., Mufutau, O.B. The impact of shale gas development on the U.S economy: evidence from a quantile autoregressive distributed lag model // Energy, Elsevier, vol. 205(C). — 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118004. URL: https://www.researchgate.net/publication/341966153_The_impact_of_shale_gas_development_on_the_US_economy_Evidence_from_a_quantile_autoregressive_distributed_lag_model.
16. Gomes, A.C.S., Shcherba, V.A., Vorobyev, K.A., Chekushina, T.V. Analysis of Associated Petroleum Gas (APG) Utilization in Russia and Abroad // Springer International Publishing — Proceedings of the 5th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. Held 25–27 September 2019, Chelyabinsk, Russia. Institute of Physics Publishing (IOP). — С. 442–452. DOI: 10.1007/978-3-030-91145-4_42. URL: <https://www.springerprofessional.de/en/analysis-of-associated-petroleum-gas-apg-utilization-in-russia-a/20185910>.

17. Perspectives on the Development of LNG Market Hubs in the Asia Pacific Region. U.S. Energy Information Administration (2017). Washington DC, U.S.A. — 2017. — 69 с. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/lng/asia/pdf/lngasia.pdf>.
18. Market Snapshot: Western Canadian Natural Gas Production Reaches a Record High in 2022. Canada Energy Regulator. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/market-snapshots/2023/market-snapshot-western-canadian-natural-gas-production-reaches-a-record-high-in-2022.html> (дата обращения 6.04.2024 г.).
19. Щерба В.А., Гомес А.Ш.С., Воробьев К.А. Проблемы и перспективы утилизации попутного нефтяного газа в Российской Федерации // Проблемы региональной экологии. — 2019. — № 1. — С. 139–145. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11139. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-utilizatsii-poputnogo-neftyanogo-gaza-v-rossiyskoy-federatsii/viewer>.
20. World Shale Resource Assessments. U.S. Energy Information Administration. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/> (дата обращения 21.04.2024 г.).
21. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Canada. U.S. Department of Energy Information Administration (EIA). Washington DC, USA. — 2015. — 66 с. URL: <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/overview.pdf>.
22. Yergin, D., & Andrus, S. The Shale Gale turns 10: A powerful wind at America's back. London, U.K.: IHS Markit. 2018. — 75 с. URL: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/Shale-Gale-turns10-powerful-wind-Americas-back.pdf>.

Gomes Antonio Chicuna Suami

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

E-mail: engchicunagomes@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5217-4665>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=958737

Mascarenhas Da Silva Gracias Alcidio

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

E-mail: alcidio@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9026-1481>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1253374

Shcherba Vladimir Afanasyevich

Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

E-mail: shcherba_va@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=666323

Analysis of the current state of shale gas field development in Canada and around the world

Abstract. This review article examines the current state of shale gas development in Canada and globally, focusing on the technological, economic, and environmental aspects of extraction. The study includes an analysis of current trends in the shale revolution, industry development prospects, and key challenges faced by countries in exploiting these deposits. The article pays special attention to the innovative technologies used in shale gas extraction, including horizontal drilling and hydraulic fracturing, which have significantly altered the energy landscape. The economic efficiency and competitiveness of shale gas production are also considered, which is crucial for understanding its impact on global energy markets. A review of the environmental consequences associated with shale gas extraction, such as water resource pollution, greenhouse gas emissions, and other negative impacts on the environment, highlights the need for the development and implementation of sustainable technologies. An essential part of the article is the systematic analysis of global reserves and the extent of shale gas development in key countries, such as the United States of America and Canada. The Canadian experience in developing shale gas fields, particularly in the provinces of Alberta and British Columbia, is analyzed in the context of global trends, allowing for the identification of both successes and challenges associated with shale gas extraction in various regions. Thus, the article provides a comprehensive understanding of the current state and future directions of the shale gas industry, based on data from various sources and conducting a comparative analysis of the technological, economic, and environmental factors affecting this rapidly evolving sector.

Keywords: shale gas; field development; horizontal drilling; hydraulic fracturing; tight formation; Canada; natural gas