

Обзор среднего состава газа угольных пластов по странам и макрорегионам

Н.В. Попов¹⁾, А.А. Миронов²⁾, А.К. Сингх³⁾

¹⁾Институт глобального климата и экологии,
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б,

²⁾Автономная некоммерческая организация «Международный центр устойчивого энергетического развития под эгидой ЮНЕСКО»,
РФ, 117292, г. Москва, ул. Кедрова, д. 8, к. 2

³⁾Индийский технологический институт в Мумбаи (ИТ Bombay),
Мумбаи, Индия

*Адрес для переписки: nikitappv@igce.ru

Реферат. К 2027 году МГЭИК планирует разработать Методический доклад по инвентаризации короткоживущих климатически активных веществ, не являющихся парниковыми газами (летучие не метановые органические соединения, черный углерод). Ожидается, что данное руководство будет служить методической основой для учёта таких веществ в национальных инвентаризациях, а также будет содержать рекомендуемые коэффициенты для расчета их выбросов в различных отраслях производственной деятельности человека, включая угледобывающую отрасль. В настоящее время разработка методических руководств осуществляется ведущими авторами разделов – экспертами, приглашёнными МГЭИК из разных стран, в том числе из России.

В этой связи была сформирована и систематизирована база данных по компонентному составу газов угольных пластов крупнейших месторождений мира. В результате обработки открытых научных и отраслевых источников были получены усреднённые составы газов угольных пластов по странам и макрорегионам мира в трёх интервалах глубин, рекомендуемых МГЭИК.

Средняя объемная доля метана в газе угольных пластов преимущественно находится в интервале 52-95%. Максимальные средние содержания других компонентов составили: этана (C_2H_6) – 4.55%, пропилена (C_3H_6) – 1.8%, пропана (C_3H_8) – 1.9%, бутана (C_4H_{10}) – 0.48% и водорода (H_2) – 0.63%. Суммарная фракция неметановых летучих органических соединений (НМЛОС) – 2.53%. Сероводород (H_2S) в результатах рассмотренных открытых публикаций не обнаружен, а анализ оксида углерода (CO) не проводился ввиду его единичного присутствия.

Анализ зависимости состава газа от глубины показал, что концентрация метана в целом возрастает с глубиной, достигая максимальных значений в интервале 750-1500 м, после чего наблюдается её нелинейное снижение. Содержание НМЛОС демонстрирует экспоненциальный рост с глубиной с усилением тренда на глубинах более 1000 м. В целом наибольшие концентрации углеводородных компонентов фиксируются в интервале глубин 1000-

1500 м, тогда как на больших глубинах для отдельных компонентов наблюдаются разнонаправленные зависимости. Сформированная база данных может служить основой для дальнейших расчётов коэффициентов выбросов короткоживущих климатически активных веществ при добыче угля. Полученные результаты представляют практическую значимость для дальнейшей разработки методических подходов МГЭИК и могут быть использованы при подготовке международных руководств по инвентаризации выбросов в угольной промышленности.

Ключевые слова. Газ угольных пластов, состав, НМЛЮС, метан, Китай, метан угольных пластов, короткоживущие климатически активные вещества.

Overview of the average coal seam gas composition by country and region

N.V. Popov¹⁾, A.A. Mironov²⁾, A.K. Singh³⁾

¹⁾Yu. A. Israel Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya st., 107258, Moscow, Russian Federation

²⁾Autonomous Non-Commercial Organization “International Sustainable Energy Development
Centre” under the auspices of UNESCO,
3rd floor, build. 2, 8, Kedrova str., 117292, Moscow, Russian Federation

³⁾Indian Technology Institute in Bombay (IIT Bombay),
Bombay, India

*Correspondence address: nikitappv@igce.ru

Abstract. By 2027, the IPCC plans to develop a Methodological Report on the inventory of short-lived climate forcers that are not greenhouse gases (non-methane volatile organic compounds and black carbon). This guidance is expected to provide a methodological basis for accounting for these substances in national inventories and to include recommended emission factors for their estimation across various sectors of human activity, including the coal mining industry. The development of these methodological guidelines is currently being carried out by lead authors – experts invited by the IPCC from different countries, including Russia.

In this context, a database on the compositional characteristics of coal seam gases from major coal deposits worldwide was compiled and systematized. Based on the analysis of open scientific and industry sources, average coal seam gas compositions were derived for individual countries and global regions across three depth intervals recommended by the IPCC.

The average methane content in coal seam gas predominantly ranges from 52% to 95%. The maximum average concentrations of other components were 4.55% for ethane (C₂H₆), 1.8% for propylene (C₃H₆), 1.9% for propane (C₃H₈), 0.48% for butane (C₄H₁₀), and 0.63% for hydrogen (H₂). Summary NMVOC – 2.53%. Hydrogen sulfide (H₂S) was not detected in the reviewed open-source publications, and carbon monoxide (CO) was not analyzed due to its limited occurrence.

The relationship between gas composition and depth was evaluated for CH₄, NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds), and H₂. The results indicate that methane concentration generally increases with depth, reaching maximum values within the 750-1500 m interval, followed by a nonlinear decrease at greater depths. In contrast, NMVOC content exhibits an exponential increase with depth, with a steeper trend observed beyond 1000 m. Overall, the highest concentrations of hydrocarbon components are observed at depths of 1000-1500 m, while deeper intervals show divergent trends among individual components.

The compiled database can serve as a basis for further estimation of emission factors for short-lived climate forcers from coal mining. The results have practical significance for the further development of IPCC methodological approaches and can be used in the preparation of international guidelines for emission inventory in the coal mining sector.

Keywords. Coalbed gas, composition, NMVOC, methane, China, coalbed methane, short-lived climate forcers.

Введение

Короткоживущие климатически-активные вещества (КЖКАВ) – это перечень химически активных компонентов, срок жизни которых в атмосфере обычно составляет не более двадцати лет. Данные вещества различаются по физико-химическим свойствам и воздействию на окружающую среду. КЖКАВ могут напрямую воздействовать на климатическую систему через радиационный форсинг или косвенно, так как они, вступая в реакции с другими атмосферными составляющими могут приводить к образованию парниковых газов.

Согласно данным Шестого Оценочного Доклада МГЭИК (ОД6) (IPCC, 2023) к прямым КЖКАВ относятся: метан (CH₄); озон (O₃); короткоживущие галогены; гидрофторуглероды (HFCs); гидрохлорфторуглероды (HCFCs) и аэрозоли. К косвенным КЖКАВ относят оксиды азота (NO_x), углерода оксид (CO), не метановые летучие органические соединения (НМЛОС), диоксид серы (SO₂), аммиак (NH₃) и аэрозоли, включая углеродсодержащие. С точки зрения воздействия на климатическую систему КЖКАВ могут приводить как к охлаждающему эффекту, например, SO₂, так и к потеплению, как чёрный углерод (BC). Согласно ОД6 можно с большой долей уверенности предполагать, что сокращение годовых выбросов КЖКАВ за период от 10-20 лет может иметь столь же значительное воздействие на климатическую систему, как и годовые выбросы диоксида углерода (CO₂).

На 62-й конференции МГЭИК в Болгарии было принято решение IPCC-LXI-7 о подготовке Методического доклада МГЭИК по оценке выбросов КЖКАВ. Цель доклада – разработка методологии инвентаризации КЖКАВ, которая может быть применена на национальном уровне каждой страной. Охват веществ, учитываемые Методическим докладом, будет меньше, чем перечень КЖКАВ, представленный в ОД6, а именно: NO_x, CO, НМЛОС, SO₂, NH₃, BC и органический углерод (OC).

Структура Методического доклада будет охватывать те же сектора, что Руководящие принципы МГЭИК 2006 года (IPCC, 2006) и Уточнения к ним 2019 года (IPCC, 2019): энергетика; промышленность; сельское хозяйство; землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ) и отходы.

Сектор Энергетика будет охватывать выбросы от стационарного сжигания с целью производства тепла и электроэнергии, мобильного сжигания в транспорте и летучие, или фугитивные выбросы. Согласно Руководящим принципам 2006 года летучие выбросы парниковых газов происходят от утечек, продувок и факельного сжигания при операциях с углём, нефтью и газом, а также от трансформации твёрдых видов топлив. Категория летучих выбросов от операций с углём подразделяется на выбросы от подземной добычи, последующего обращения с углём, добытым подземным способом, ликвидированных шахт, факельного сжигания шахтного газа, или газа угольных пластов (далее ГУП), открытой добычи угля, последующего обращения с углём, добытым открытым способом, ликвидированных угольных разрезов, разведки и неконтролируемого горения угля.

Часть выбросов от указанных выше подкатегорий операций с углём связаны с ГУП, содержащимся в углях в сорбированном, свободном и растворённом состояниях. Состав такого газа меняется с глубиной, что связано с наличием явления газовой зональности. В состав ГУП могут входить следующие вещества: CH_4 , диоксид углерода (CO_2), этан и более тяжёлые углеводороды (C_2^+), водород (H_2), N_2 , инертные газы, например, гелий (He), и другие остаточные элементы.

В научных и отраслевых источниках, посвященных разведочному бурению угольных месторождений, анализу возможности добычи метана из угольных пластов, изучению состава ГУП и других, часто в том или ином виде содержится ценная информация о объемном содержании в ГУП вышеупомянутых КЖКАВ. До сих пор не предпринимались попытки агрегации и анализа этих данных для стран или макрорегионов в целом с точки зрения дальнейшего использования результатов в национальных инвентаризациях выбросов.

Целью данного исследования являлся расчет на основе научных источников среднего состава ГУП для основных угледобывающих стран и макрорегионов мира для различных глубин залегания и анализ полученных результатов.

Для выполнения указанной цели были выполнены следующие задачи:

1. сбор данных о составах ГУП крупнейших угольных месторождений мира;
 2. соотнесение (точное или оценочное) найденных составов с глубиной залегания углей;
 3. расчет среднего состава ГУП для основных угледобывающих стран, для трех диапазонов глубин, рекомендованных МГЭИК: до 200 метров, от 200 до 400 метров и более 400 метров;
 4. расчет средних составов ГУП для указанных глубин для шести макро-регионов мира: Азия, Европа, Северная Америка, Южная Америка, Австралия, и Африка;
-

5. анализ зависимости концентрации отдельных КЖКАВ от глубины залегания угольных пластов.

Методы и материалы

Для целей исследования была составлена выборка стран, которые имеют наибольший объём операционной деятельности по добыче угля в отдельных макрорегионах.

По данным World Statistical Review of Energy 2025 (Energy, 2025) в каждой из частей света, или макрорегионах были выбраны от одной до трех стран с наибольшим объёмом добычи угля в 2024 году: в Азии – Китай, Индия и Индонезия; в Европе – Российская Федерация, Германия и Польша; в Северной Америке – США и Канада; в Южной Америке – Колумбия; в Австралии и Океании – Австралия; в Африке – ЮАР. Данные по добыче угля в этих странах приведены в табл. 1.

Таблица 1. Статистика по добыче угля по странам и макрорегионам в 2024 году (Statistical Review, 2025)

Table 1. Coal production statistics by countries and regions in 2024 (Statistical Review, 2025)

Страна	Добыча угля за 2024 г., млн т	Добыча угля всего в макро-регионе за 2024 г., млн т
Азия		
Китай	4780	7417.1
Индия	1085.1	
Индонезия	836.3	
Европа		
Российская Федерация	427.2	757.1 ¹
Германия	91.9	
Польша	85.2	
Северная Америка		
США	464.6	512.4
Канада	42.6	
Австралия и Океания		
Австралия	462.9	465.4 ²
Африка		
ЮАР	235	267
Южная Америка		
Колумбия	52.7	61

¹ В докладе (Energy, 2025) Турция относится к странам Европы, а Россия отнесена к содружеству CIS, но в рамках данной статьи разделение было выполнено по географической принадлежности: Россия отнесена к Европе, а Турция не вошла в список стран-лидеров по добыче угля в Азии

² Указана сумма добычи угля в Австралии и Новой Зеландии согласно докладу (Statistical Review, 2025)

По каждой из стран выборки проводился поиск открытых исследований, содержащих данные по составу ГУП, отобранных на определенных глубинах. Полученные данные заносились в таблицу, где были указаны угольный бассейн (название шахты или месторождения), молярные доли компонентов (CH_4 , C_2^+ и др.) и глубина отбора проб.

Для каждой страны и диапазона глубин далее рассчитывалось среднее объемное содержание каждого компонента в ГУП. В случае наличия большого объема данных для различных проб (скважин) из одного бассейна, усреднение сначала проводилось по пробам внутри бассейна, а затем между бассейнами внутри страны. Данные по странам усреднялись для получения значения по макрорегиону. Если для определенного макрорегиона отсутствовали данные по компонентному составу ГУП для некоторого диапазона глубин, то они усреднялись по всем остальным макрорегионам, с целью получения среднего глобального компонентного состава ГУП.

По результатам проведенного обзора литературы, в общей сложности данные 40 научных источников легли в основу расчета средних значений состава ГУП для стран и макрорегионов.

Макрорегион Азия

Для макрорегиона Азия расчет базируется на данных 12 источников, включая 7 публикаций для Китая (Haitao et al., 2022; Wei et al., 2022; Wei et al., 2024; Zhang et al., 2021; Li et al., 2021; Lu et al., 2022; Xia et al., 2016), 2 для Индии и 4 для Индонезии (Simatupang, Amarullah, 2010; Moore et al., 2014; Harfiandri et al., 2022; Mazumder et al., 2010).

Географический охват в Китае включает данные по крупнейшим угледобывающим регионам: Внутренней Монголии (бассейн Эрлянью) (Haitao et al., 2022), провинциям Шаньси (бассейн Ордос) (Xia et al., 2016), Синцзянь (Джунгарский бассейн) (Zhang et al., 2021; Li et al., 2021), Гуйчжоу (угленосные районы Южного Сычуаня и северного Гуйчжоу) (Lu et al., 2022), а также провинции Аньхой (угленосные регионы Хайнань и Хуабей) (Wei et al., 2024; Wei et al., 2022).

Глубины, охватываемые собранными данными: от 354 до 3820 м. В ряде исследований проводится анализ генезиса и механизмов накопления ГУП в пластах, а в остальных публикациях проводится комплексный анализ геохимических характеристик и ресурсов ГУП в пластах вместе с параметрами, влияющими на них.

По Индии собраны данные по Гондванским отложениям по Дамодарскому угольному бассейну (Shukla et al., 2025) и бассейну Сон-Маханади. Охватываемые глубины: от 114 до 2321 м., что говорит о том, что полученные данные могут также отражать состав ГУП, выделяющийся при открытой добыче угля. В исследовании (Shukla et al., 2025) проводится оценка петрографических, геохимических и характеристик минеральной матрицы проб сланца и углей различных месторождений раннепермских Гондванских образований. Данные из конфиденциального источника содержат только данные о составе ГУП.

По Индонезии данные охватывают угольные бассейны Кутай, Барито и Южная Суматра. Глубины меньше, чем у остальных азиатских стран – от 235 до 921 метров. В двух исследованиях проводится оценка ресурсов ГУП в бассейнах Кутай и Южная Суматра (Simatupang, Amarullah, 2010; Harfiandri et al., 2022), целью других работ является оценка подверженности состава ГУП температуре (Moore et al., 2014), и анализ возможности захоронения CO₂ в угольных пластах (Mazumder et al., 2010).

Таким образом, в макрорегионе Азия охвачены крупнейшие угледобывающие районы трёх стран: в Китае – бассейны Эрлянь, Ордос, Джунгар и угленосные районы Южного Сычуаня и Северного Гуйчжоу; в Индии – Дамодар и Сон-Маханади; в Индонезии – Кутай, Барито, и Южная Суматра, что говорит о представительности этих данных для оценки средних составов ГУП разных глубин азиатского макрорегиона.

Макрорегион Европа

Обзор составов ГУП в Европейском макрорегионе базируется на 10 источниках литературы: 5 по Российской Федерации; 2 по Германии и 3 по Польше.

Крупнейшим производителем угля в Европе является Российская Федерация. Основу для расчета составляют данные из работ (Тендер, 1981; Зимков, 1966), посвященные исследованию составов шахтного метана в Кузнецком и Печорском угольных бассейнах, на которые суммарно приходится порядка 80% всей добычи угля в стране (НДК, 2025). Из работы (Журавлева и др., 2015) были взяты средние значения результатов компонентного анализа проб с Нарыкско-Осташкинской площади и Талдинского месторождения Кузбасса. Расчетная база дополнена независимыми данными из работы (Журавлева, Потокина, 2012) и исследований по Печорскому бассейну (Потокина, 2015). Диапазон глубин, охватываемых данными, составляет от 250 до 1500 м, что свидетельствует о том, что полученные данные могут быть репрезентативны для состава ГУП, выделяющегося при открытой добыче угля.

Данные, полученные по Германии, охватывают каменноугольные бассейны рек Рура, Саара, Ахена и Иббенбюрена. Диапазон охватываемых глубин составил 300-1500 м. Первый источник является конфиденциальным и содержит данные о составе ГУП всех четырех вышеупомянутых бассейнов, во втором источнике (Thielemann et al., 2004) проводится оценка ресурсов и анализ генезиса ГУП в Рурском бассейне.

Основная добыча угля в Польше сосредоточена в Верхнесилезском и Люблинском угольных бассейнах (Kotarba, 2011), для которых приведены данные по составу угольного газа, отобранного из шахт и дегазационных скважин угольных пластов. В исследовании польской угольной компании JSW (Jastrzębska Spółka Węglowa) по Верхнесилезскому бассейну (Badyłak, 2021) представлены результаты утилизации ГУП, дренированного на шахтах компании. В работе (Badyda, 2008) приведен обзор проблем, связанных с энергетическим использованием ГУП и связанными техническими экологическими и экономическими эффектами. Также, в работе (Badyda, 2008) проводится оценка

свойств ГУП и состояние его утилизации в Польше и в мире на фоне признанных источников возобновляемой энергии и приводятся обобщённые данные по составу ГУП в польских угольных бассейнах, основанные на эксплуатационных и статистических материалах (в том числе данных горного надзора).

Из вышесказанного следует, что проведенный обзор литературы по Европейскому макрорегиону охватывает его основные угольные бассейны: в России – Печорский бассейн и Кузнецкий; в Германии – бассейны рек Рура, Саара, Ахена и Иббенбюрена; в Польше – Люблинский и Верхнесилезский. Полученные данные позволяют отразить средний состав ГУП, выделяющийся при добыче угля на разных глубинах в Европейском макрорегионе.

Макрорегион Северная Америка

В Северной Америке крупнейшим производителем угля является США. На основе обзора 4 источников литературы были отобраны данные по угольным бассейнам Паудер-Ривер, Блэк-Уорриор, Сан-Хуан и Центрально-Аппалачскому бассейну. Следует отметить, что США является одной из первых стран мира, в которой была начата промышленная добыча ГУП, в том числе и из законсервированных и ликвидированных угольных шахт (EPA, 2008). В двух исследованиях (Boreck, Weaver, 1984; Lyons, 1996) проводилась оценка характеристик и ресурсов ГУП в бассейнах Паудер-Ривер и Центрально-Аппалачском бассейне, остальные источники (Pashin et al., 2014; Scott, 1994) посвящены оценке гидрологических характеристик бассейна Блэк-Уорриор и анализу характеристик и генезиса ГУП в бассейне Сан-Хуан. Диапазон охватываемых глубин составил от 300 до приблизительно 800 метров.

По Канаде были собраны данные по Западно-канадскому осадочному бассейну, провинции Альберта. В исследовании (Dawson et al., 2000) проведен комплексный анализ территории Канады для разработки ресурсов ГУП: выделены критерии, характеризующие наиболее привлекательные объекты для разведки, сами объекты разведки разделены географически. В исследовании по провинции Альберта (Beaton, 2003) проанализированы несколько районов для разведки ГУП: отмечено, что не все угольные пласты, с большими запасами ГУП потенциально пригодны для разведки этого газа из-за низкой проницаемости пород. Диапазон глубины, на которых отбирались пробы: 330-1413 метров.

Таким образом, обзор литературы по Северно-американскому макрорегиону охватывает основные угольные бассейны, содержащие ГУП: в США – Паудер-Ривер, Блэк-Уорриор, Сан-Хуан и Центрально-Аппалачский бассейн; в Канаде – Западно-канадский бассейн.

Макрорегион Австралия

Макрорегион представлен данными о типичном составе ГУП крупнейшего угольного бассейна Австралии – Боуэн, штат Квинсленд (KPMG, 2021; Gray et al., 2007), а также данными угленосных толщ Иллавара в пределах Сиднейского бассейна (BHP, 2009) и района Нарраби в пределах угольного бассейна Ганнеда (Heggies, 2009), располагающихся в штате Новый Южный Уэльс.

Для оценки состава ГУП бассейна Боуэн использовались обобщённые (типовые) значения, полученные консалтинговой компанией GHD и опубликованные в технико-экономическом исследовании при участии KPMG (KPMG, 2021). Отмечается, что состав типичен для газа, извлекаемого из ненарушенных угольных пластов, и характерная средняя глубина составляет 400 м. В техническом отчете проекта дегазации и оценке выбросов парниковых газов для угольного пласта Булли (Иллаваара) (BHP, 2009) также представлен типичный состав ГУП, указана средняя глубина скважин для исследования – 500 м. В аналогичном отчете для района Нарраби (Heggies, 2009) отмечается преобладание в составе ГУП CO_2 (до 90%), диапазон глубин составляет 160-180 м (АММ, 2010). Дополнительно по бассейну Боуэн использовались данные научной статьи (Gray et al., 2007), посвященной проекту дегазации выработанного пространства шахты Моранба, диапазон глубин рабочего пласта 125-350 метров.

Таким образом, данные о типичном составе ГУП охватывают крупнейшие угледобывающие бассейны Австралии: Боуэн, Сиднейский, Ганнеда. Общий диапазон рассматриваемых глубин для макрорегиона составил 125-500 метров.

Макрорегион Южная Америка

Макрорегион характеризуется данными о составе ГУП различных районов Восточных Кордильер, являющимися крупнейшей угленосной провинцией Южной Америки. В статье (Mojica, Marino, 2013) изучены состояние разведки и перспективы добычи метана из угольных пластов департамента Бояка, откуда получены пробы газа. Указано, что угольные пласты с повышенной газоносностью залегают на глубинах более 300 м, однако точная глубина отбора проб не приводится. К примеру, в (El Carbon, 2021) указана глубина изучаемой в (Mojica, Marino, 2013) скважины Tasco (425 м), однако однозначной связи состава ГУП для этой глубины не установлено.

В работе (Duarte-Barrera, Marino-Martinez, 2022) приводятся более детальные данные по району Сезар, а также ссылки на масштабные научно-исследовательские работы, проводившиеся геологической службой Колумбии по районам Бояка, Кудинамарка и Сантандер (Rincón, 2014; Duarte Barrera, 2016; Ortiz Mullet, 2016; Ortiz Mullet, 2018; Duarte Barrera, 2019). В указанных работах приведены составы газа более 111 проб, глубины, охватываемые указанными данными: от 38.9 до 580.9, что позволяет использовать полученную информацию для отображения состава ГУП, выделяющегося при открытой и подземной добыче угля.

Таким образом, данные о составе ГУП макрорегиона относятся преимущественно к угольным отложениям Восточных Кордильер, а диапазон глубин составляет 38.9-580.9 метров.

Макрорегион Африка

Для макрорегиона Африка использованы данные проекта, посвящённого использованию шахтного метана для выработки электроэнергии на базе топливных элементов (Hauptfleisch, 2010). В качестве площадки был выбран участок

компании Anglo Coal по добыче ГУП в районе города Лефалеле (провинция Лимпопо, ЮАР). Данные отнесены к диапазону глубины от 200 до 400 метров.

Результаты и обсуждение

Национальные усредненные составы газов угольных пластов стран – лидеров по добыче угля в зависимости от глубины представлены в табл. 2.

Наибольшее количество проб в открытых источниках было обнаружено по Китаю – более 230, Колумбии – более 110 и Индии – более 105. Как видно из табл. 2, средняя объемная доля метана в смеси ГУП преимущественно лежит в интервале от 52% до 95%. Максимальная средняя доля этана (C_2H_6) составила 4.55%, пропилена (C_3H_6) – 1.8%, пропана (C_3H_8) – 1.9%, бутана (C_4H_{10}) – 0.48%, водорода (H_2) – 0.63% НМЛОС (сумма фракций C_2 - C_6) – 2.53 %.

Следует отметить, что для Северной Америки не были получены данные на глубинах до 200 метров, также и для Африки не имелось данных о компонентном составе ГУП для глубин до 200 и более 400 метров, поэтому отсутствующие данные заменялись средним глобальным составом ГУП для указанных глубин. Из табл. 3 следует, что средние составы ГУП для макрорегионов редко включают в себя тяжелые углеводородные компоненты (C_5 - C_6).

Была проанализирована зависимость данных по объемной доле CH_4 . НМЛОС и H_2 от глубины в рассматриваемых пробах – результаты приведены на рис. 1, 2 и 4, соответственно. В отличие от табличных данных, включающих усреднённые значения и пробы с оценочными глубинами, графики на рисунках построены только по тем данным, для которых глубина отбора указана точно или приведен диапазон глубин. Анализ по CO не проводился, так как данный газ был обнаружен всего в трех пробах. H_2S не был обнаружен в пробах по рассмотренным источникам.

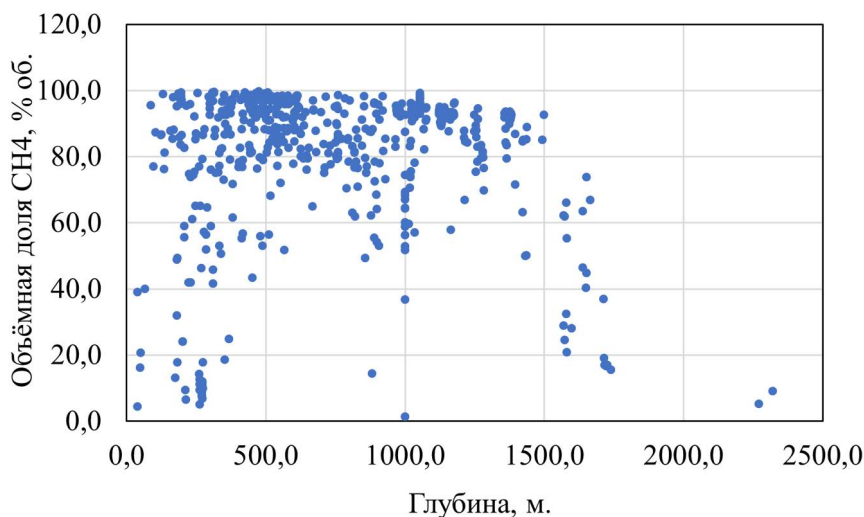


Рисунок 1. Зависимость объемной доли CH_4 в газе угольных пластов от глубины

Figure 1. Dependence of CH_4 volume fraction in coal seam gas on depth

Таблица 2. Национальные усредненные составы газов угольных пластов стран – лидеров по добыче угля, об. %
Table 2. National average coal seam gas compositions for leading coal-producing countries, vol,%

Страна	Глубина, м	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₃ H ₆	HMLЮС	He	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂	CO	H ₂ S	Ag
Канада	200-400	95.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>400	88.70	0.42	7.4·10 ⁻²	0	0	0	0	7.4·10 ⁻²	0	0	3.23	3.82	0	0	0	0
США	200-400	82.28	0.22	0.10	0.12	6.2·10 ⁻²	0	0	0.28	0	0	6.22	0	0	0	0	0
	>400	96.90	0.97	1.0·10 ⁻³	2.0·10 ⁻⁴	0	0	0	1.2·10 ⁻³	0	0	1.91	0.22	0	0	0	0
Россия	<200	95.92	0.42	7.1·10 ⁻²	1.4·10 ⁻²	2.7·10 ⁻³	1.0·10 ⁻³	0	8.9·10 ⁻²	1.2·10 ⁻²	1.0·10 ⁻³	1.71	0.94	5.0·10 ⁻³	0	0	0
	200-400	78.69	4.55	1.92	0.42	3.8·10 ⁻⁴	0	0	2.35	5.6·10 ⁻⁴	0.34	1.31	12.68	0	0	0	0
	>400	88.56	3.13	0.91	0.18	1.5·10 ⁻²	5.8·10 ⁻⁴	0	1.11	0	0.27	1.18	5.98	0	0	0	0
Польша	200-400	95.20	7.0·10 ⁻³	3.0·10 ⁻³	0	0	0	0	3.0·10 ⁻³	1.0·10 ⁻²	0	0	4.80	0	0	0	4.0·10 ⁻²
	>400	65.15	1.9·10 ⁻²	1.9·10 ⁻³	2.8·10 ⁻⁴	0	0	0	2.2·10 ⁻³	4.4·10 ⁻²	0	2.07	27.72	0	0	0	0
Германия	200-400	92.50	0.25	0	0	0	0	0	0	0.63	0.63	3.50	2.50	0	0	0	0
	>400	83.21	1.28	6.4·10 ⁻²	0	0	0	0	6.4·10 ⁻²	0.22	0	5.43	9.38	0	0	0	0
Китай	200-400	67.39	0.32	0	0	0	0	0	0	0	6.7·10 ⁻²	1.46	30.89	0	0	0	0
	>400	83.29	1.60	0.17	0	0	0	0	0.17	0	1.5·10 ⁻³	5.33	9.33	0	0	0	0
Индия	<200	70.50	3.03	0.44	0.09	0	0	0	0.53	0	0	3.01	9.97	8.56	0	0	0
	200-400	75.64	2.40	0.56	0.18	0	0	1.79	2.53	0	0	1.64	9.72	6.60	0	0	0
	>400	75.51	3.69	1.31	0.48	6.2·10 ⁻²	1.2·10 ⁻²	0.53	2.39	0	2.5·10 ⁻³	1.37	12.04	4.57	4.0·10 ⁻⁵	0	0
Индонезия	200-400	52.08	2.6·10 ⁻²	0	0	0	0	0	0	0	0	2.85	38.66	6.38	0	0	0
	>400	90.92	0.32	4.7·10 ⁻²	9.2·10 ⁻³	0	0	0	5.6·10 ⁻²	0	0	8.33	0.44	0	0	0	0
Южная Африка	<200	83.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.00	3.00	0	0	0	0
Австралия	200-400	10.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90.00	0	0	0	0	0
	>400	78.01	5.0·10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	5.0·10 ⁻³	1.5·10 ⁻²	3.15	18.04	1.36	0	0	0.18
	<200	86.86	1.73	0.55	0.28	0	0	0	0.83	0	0.19	7.76	0	3.0·10 ⁻²	0	0	3.03

Таблица 3. Усредненные составы газов угольных пластов по макрорегионам мира в трёх интервалах глубины
Table 3. Average coal seam gas compositions by world major regions across three depth intervals

Макрорегион	Глубина, м.	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₃ H ₆	НМЛОС	He	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂	CO	Ag
Северная Америка	<200	59.44	1.12	0.13	0.03	6.72·10 ⁻⁴	2.50·10 ⁻⁴	0	1.28	0	2.50·10 ⁻⁴	24.29	11.19	2.14	0	0
	200-400	82.28	0.22	0.1	0.12	0.06	0	0	0.5	0	0	6.22	0	0	0	0
	>400	92.8	0.69	0.04	1.00·10 ⁻⁴	0	0	0	0.73	0	0	2.57	2.02	0	0	0
Европа	<200	95.92	0.42	0.07	0.01	0	1.00·10 ⁻³	0	0.51	0.01	1.00·10 ⁻³	1.71	0.94	0.01	0	0
	200-400	88.8	1.6	0.64	0.14	1.28·10 ⁻⁴	0	0	2.38	0.21	0.32	1.6	6.66	0	0	0.01
	>400	78.97	1.48	0.32	0.06	0	1.95·10 ⁻⁴	0	1.87	0.09	0.09	2.89	14.36	0	0	0
Азия	<200	70.5	3.03	0.44	0.09	0	0	0	3.56	0	0	3.01	9.97	8.56	0	0
	200-400	65.04	0.92	0.19	0.06	0	0	0.6	1.76	0	0.02	1.98	26.43	4.33	0	0
	>400	83.24	1.87	0.51	0.16	0.02	0	0.18	2.74	0	0	5.01	7.27	1.52	1.33·10 ⁻⁵	0
Африка	<200	59.44	1.12	0.13	0.03	6.72·10 ⁻⁴	2.50·10 ⁻⁴	0	1.28	0	2.50·10 ⁻⁴	24.29	11.19	2.14	0	0
	200-400	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	3	0	0	0
	>400	84.88	1.28	0.28	0.1	0.01	8.24·10 ⁻⁴	0.04	1.71	0.02	0.06	3.93	6.67	0.31	2.65·10 ⁻⁶	0.61
Южная Америка	<200	61.36	1.03	0	0	0	0	0	1.03	0	0	2.43	33.84	0	0	0
	200-400	78.37	0.9	0	0	0	0	0	0.9	0	0	1.96	15.82	0	0	0
	>400	82.54	0.64	0	0	0	0	0	0.64	0	0	1.42	9.68	0	0	0
Австралия и Океания	<200	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0
	200-400	78.01	0.01	0	0	0	0	0	5.00·10 ⁻³	0.01	0.02	3.15	18.04	1.36	0	0.18
	>400	86.86	1.73	0.55	0.28	0	0	0	2.56	0	0.19	7.76	0	0.03	0	3.03

Из рис. 1 следует, что концентрация метана возрастает с глубиной и является максимальной на глубинах 750-1500 метров, за исключением отдельных проб. На глубинах более 1500 метров концентрация этого газа нелинейно убывает.

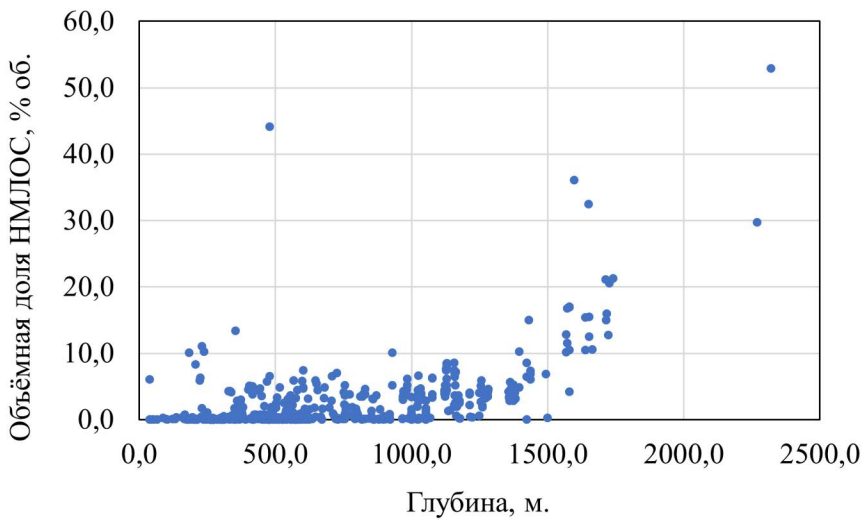


Рисунок 2. Зависимость объемной доли НМЛОС в газе угольных пластов от глубины

Figure 2. Dependence of NMLOC volume fraction in coal seam gas on depth

Из рис. 2 следует, что фракция НМЛОС с глубиной экспоненциально возрастает, а на глубинах от 1000 метров ее наклон общего тренда увеличивается. Наибольшие значения фракции НМЛОС соответствуют пробам из Индии, взятым на глубинах 2000-2500 м.

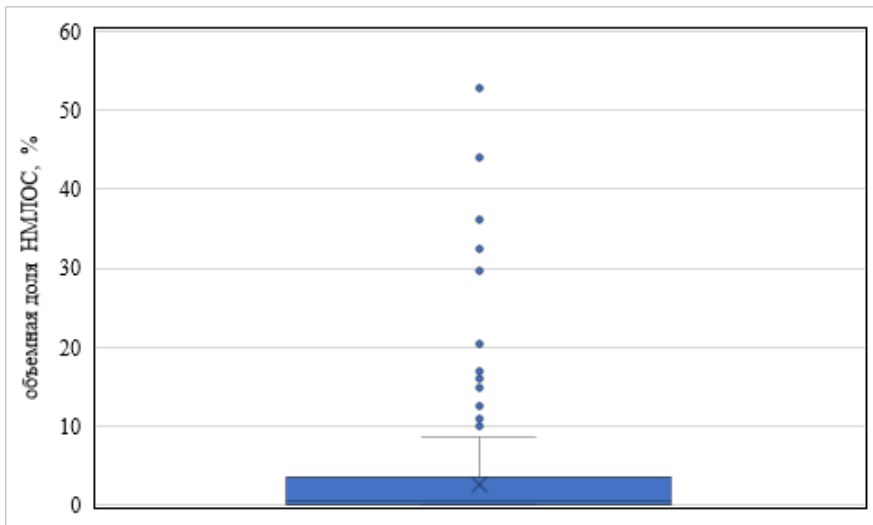


Рисунок 3. Распределение объемной доли НМЛОС в полученных данных

Figure 3. NMLOC volume fraction distribution in received samples

Из рис. 3 (диаграмма с «усами») видно, что за «усы» выпадают значения фракции НМЛОС больше 10%. Эти данные соответствуют пробам, отобраным в Колумбии (3 пробы), России (4 пробы), Китае (2 пробы) и Индии (23 пробы). Диапазоны глубин, к которым относятся эти пробы: 184-240 м – Колумбия; 354-481 м – Россия; 931 и 1432 м – Китай; 1397-2321 м – Индия. Возможно данное явление связано с наличием локальных зон сверх жирных газов, в которых фракция тяжелых углеводородов может быть значительной. Анализ данных с аномально высоким содержанием НМЛОС составляет предмет дальнейших исследований.

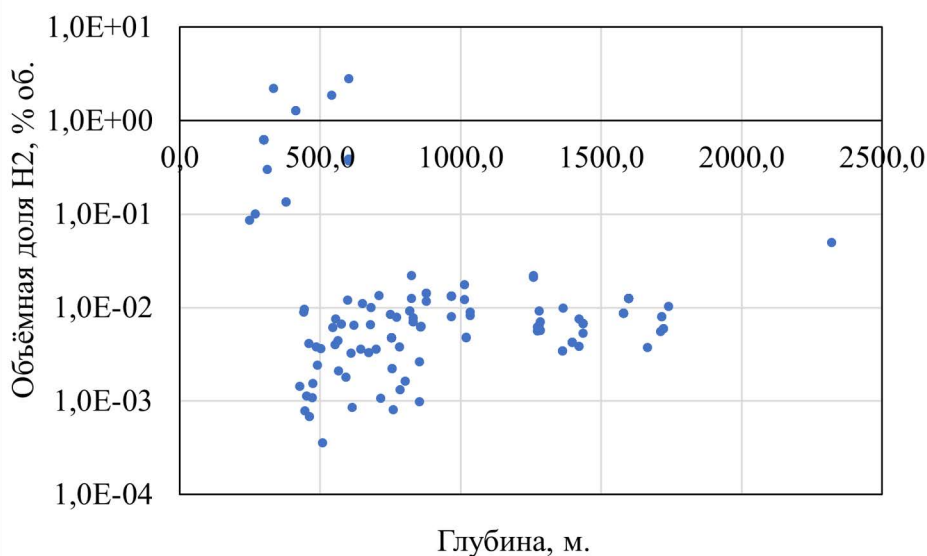


Рисунок 4. Зависимость объемной доли H_2 в газе угольных пластов от глубины

Figure 4. Dependence of H_2 volume fraction in coal seam gas on depth

Следует отметить, что на рис. 3 ось ординат приведена в логарифмическом масштабе. Можно заключить, что концентрация водорода имеет нелинейную зависимость от глубины, за исключением отдельных 10 проб.

Из рис. 1-4 можно заключить, что в рассмотренной выборке данных наибольших концентраций углеводородные компоненты ГУП достигают на глубинах от 1000 до 1500 метров. После глубины 1500 метров каждый из компонентов имеет разнонаправленные тренды зависимости от глубины.

Выводы

В работе проведен обзор открытых научных источников, в которых приводятся данные о компонентных составах газа угольных пластов. Данные систематизированы по странам и макрорегионам мира с акцентом на компоненты, относящиеся к короткоживущим климатически активным веществам (загрязнителям), рассчитаны средние по странам и макрорегионам значения объемных долей содержания в газовой смеси CH_4 , НМЛОС и H_2 и других компонентов.

Авторы данного исследования полагают, что использование данных о составах ГУП на разных глубинах вместе с коэффициентами выбросов метана, приведённых в Руководящих принципах МГЭИК 2006 года и Уточнениях к ним 2019 года, могут быть использованы для разработки коэффициентов выбросов некоторых КЖКАВ для разных стран, макрорегионов мира. и средних глобальных коэффициентов выбросов.

Результаты исследования могут быть применены в дальнейшем при разработке методических подходов МГЭИК и подготовке международных рекомендаций по оценке выбросов в угольной отрасли.

Список литературы

Зимаков, Б.М. (1966) *Газоносность угольных месторождений Печорского бассейна*, дис. ...канд. геол.-минерал. наук, Моск. геол.-развед. ин-т им. С. Орджоникидзе, Москва, 425 с..

Тендер, О.В. (1981) *Геологические условия газоносности угольных пластов северо-восточной части Кузбасса на примере Анжерского и Кемеровского районов*, дис ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.16., Москва, 235 с.

Журавлева, Н.В., Потокина, Р.Р. (2012) Изучение компонентного состава газа, извлеченного из угольного керна, *Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности*, сборник трудов XIV Международной научно–практической конференции (Кемерово, 18-21 сент. 2012 г.), Кемерово, Ин-т угля СО РАН, 279 с.

Журавлева, Н.В., Потокина, Р.Р., Исмагилов, З.Р., Кудинов, Е.В. (2015) Состав газа угольных пластов Талдинского месторождения, *Химия твердого топлива*, № 2, с. 3.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2023 гг. Ч. 1 (2025), Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю. А. Израэля, Москва, ИГКЭ, 422 с.

Потокина, Р.Р. (2015) *Исследование взаимосвязей сорбции метана углями Печорского угольного бассейна с их физико-химическими свойствами*, специальность 02.00.04 «Физическая химия», автореферат дис. ... канд. хим. наук, Сибирский государственный индустриальный университет, Кемерово, 17 с.

Longwall mining Narrabri (2010) *Australia's Mining Monthly Magazine*, URL: <https://www.miningmonthly.com/international-coal-news/news/1270238/longwall-mining-narrabri> (дата обращения: 10.04.2026).

Badyda, K. (2008) *Możliwości zagospodarowania gazu kopalnianego w Polsce dla celów energetycznych*, Energetyka, Czerwiec, URL: <https://www.cire.pl/pliki/2/zaggazkopx.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Badyłak, A. (2021) *Activities of Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. in the context of the upcoming European Commission's methane strategy*, 16th Session of

the Group of Experts on Coal Mine Methane (Geneva, 3-4 March 2021), Geneva UNECE, URL: <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/15.%20SEP%202021%-20%20JSW.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Beaton, A. (2003) Production potential of coalbed methane resources in Alberta, A. Beaton; Alberta Energy and Utilities Board, *EUB/AGS Earth Sciences Report*, vol. 3, URL: https://static.ags.aer.ca/files/document/ESR/ESR_2003_03.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

Appin Colliery Area 7 Goaf Gas Drainage Project (2009) *Greenhouse Gas Assessment*. Project no. 109033-02-Report 002 Rev 1. Annex C / BHP Billiton Illawarra Coal. Heggies Pty Ltd., URL: <https://gm3.au/wp-content/uploads/2024/06/annex-c-appin-surface-gas-management-project-ghg-assessment.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

Boreck, D., Weaver, J. (1984) Coalbed Methane Study of the “Anderson” Coal Deposit. Johnson County. Wyoming, *A Preliminary Report U. S. Geological Survey*. Open-File Report 84-831, Denver, Colorado, URL: <https://pubs.usgs.gov/of/1984/0831/report.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Dawson, F.M., Marchioni, D.L., Anderson, T.C., McDougall, W.J. (2000) An assessment of coalbed methane exploration projects in Canada, *Geological Survey of Canada*, Bulletin 549, Ottawa, Natural Resources Canada, URL: <https://emrlibrary.gov.yk.ca/gsc/bulletins/549.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

Duarte-Barrera, C. (2022) Más allá de los ensayos de desorción en la exploración del gas asociado al carbón (CBM). Caso Colombia, *Ingeniería y Competitividad*, vol. 24, no. 2, doi: 10.25100/iyc.v24i2.11343. URL: https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/11343 (дата обращения: 10.04.2026).

Rincón, M.A., Peña, M.L., Barajas, Q. (2014) Exploración gas metano asociado al carbón. Área Úmbita-Rondón], *Servicio Geológico Colombiano*, (Bogotá), 209 p. URL: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004002524732/documento/pdf/2105247321101000.pdf> (дата обращения: 13.04.2026).

Duarte Barrera, C.I., F. A., Parra Cristancho, F. A., Ortiz Mullett L. F. (2016) Exploración gas metano asociado al carbón. Área El Carmen de Chucuri. Santander, *Servicio Geológico Colombiano*, (Bogotá), 214 p., URL: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004002524825/documento/pdf/2105248251101000.pdf> (дата обращения: 13.04.2026).

Ortiz Mulett, L. F., Parra, F. A., Cristancho, C. I., Duarte Barrera (2016) *Exploración gas metano asociado al carbón. Area Landázuri*, Vélez. Departamento de Santander Servicio Geológico Colombiano. (Bogotá), Servicio Geológico Colombiano, 202 p. URL: <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=3401201010134706560000000000> (дата обращения: 13.04.2026).

Ortiz Mullet, L.F. , Parra, F. A., Duarte, C. I. (2018) *Exploración de gas metano asociado al carbón. Área Machetá-Jenesano*, Servicio Geológico Colombiano, (Bogotá) Servicio Geológico Colombiano, 179 p. URL: <https://>

miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=340120101046761323000000000 (дата обращения: 13.04.2026).

Duarte Barrera, C.I, Ortiz Mulett, Ortiz Mulett, F. A., Parra Cristancho, F. A. (2019) *Prospección de gas Metano asociado al Carbón*. Área Cucunubá – Guachetá. Cundinamarca, Servicio Geológico Colombiano, (Bogotá) Servicio Geológico Colombiano, 211 p. URL: <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx#Default=%7B%22k%22%3A%22k%22%7D#5b6e701c-f4f2-4f6c-91ae-a069d1dfb028=%7B%22k%22%3A%22Guachetá%22%7D> (дата обращения: 13.04.2026).

Carbón, Geociencias, Geodinámica externa Presentation El Carbon (2021) URL: <https://ru.scribd.com/document/537292459/CARBON-GEOCIENCIAS-GEODINAMICA-EXTERNA> (дата обращения: 10.04.2026).

Statistical World Review of Energy 2025 (2025) Energy Institute, London, Energy Institute, 75 p., ISBN 978-1-78725-474-9. .

Abandoned Coal Mine Methane Opportunities Database (2008) U.S. Environmental Protection Agency, URL: https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/amm_opportunities_database.pdf (дата обращения: 13.03.2026).

Gray, A., Aminossadati, S., Stolberg, D. (2007) *Goaf Drainage Design for Moranbah North Mine*, Australian Mining Technology Conference (2-4 Oct. 2007), URL: https://www.researchgate.net/publication/43478541_Goaf_drainage_design_for_Moranbah_North_Mine (дата обращения: 12.03.2026).

Harfiandri, M.S., Wioso. Y.B., Rahmanita, D. (2022) *Analysis of the use of methane gas in coal seams in South Sumatera Basin in Muara Enim Formation*, Proceedings of PIT IAGI 51st 2022 (Makassar. South Sulawesi), URL: <https://www.iagi.or.id/web/digital/71/PITIAGI-22-S-Abs-070.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Haitao, L., Tang, Li. S. (2024) Origin and accumulation mechanisms of coalbed methane in low-rank coals in gas-rich sags in the Erlan Basin, *Coal Geology & Exploration*, vol. 52, no. 2, URL: <https://cge.researchcommons.org/journal/vol52/iss2/8> (дата обращения: 13.03.2026).

Hauptfleisch, L. (2010) Fuel Cell Power Generator Project Methane to Markets Expo (New Delhi. India)? URL: https://www.globalmethane.org/expo-docs/india10/postexpo/coal_hauptfleisch.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

Narrabri Coal Mine (2009) Stage 2 Longwall Project. *Greenhouse Gas Assessment Specialist Consultant Studies Compendium*, vol. 2. no. 8, Heggies Pty Ltd; Narrabri Coal Operations Pty Ltd, URL: <https://whitehavencoal.com.au/Documentations/Narrabri%20Mine/Environmental%20Management.%20Monitoring%20%26%20Compliance/Environmental%20Assessments%20-%20Narrabri%20Stage%202/NAR-%20Stage%202%20EA%20Specialist-Part%208%20-%20Greenhouse%20Gas%20Assessment.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) H.S. Eggleston. L. Buendia. K. Miwa, Hayama, IGES. 2006.

Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2019) E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, Geneva, IPCC, 2019.

Climate Change (2023) *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I. II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, H. Lee. J. Romero, Geneva, IPCC.

Kotarba, M.J. (2001) Composition and origin of coalbed gases in the Upper Silesian and Lublin basins, *Poland Organic Geochemistry*, vol. 32, no. 1, pp. 163-180.

Bowen Basin Coal Resources Assessment Report. Bowen Basin Coal Study Group. KPMG. (Brisbane) Queensland Government (2021) URL: https://www.resources.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0008/1592855/bowen-basin-study-final-report.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

Li, Y., Yao, C., Yang, S. (2021) Study on origin and accumulation mechanism of coalbed methane in Miquan area of southern margin of Zhunggar Basin *Coal Science and Technology*, vol. 49, no. 4, pp. 220-226, URL: <https://www.mtkxjs.com.cn/en/article/pdf/preview/10.13199/j.cnki.cst.2021.04.027.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Lu, Z., Tao, Q. Li. (2021) Gas geochemistry and hydrochemical analysis of CBM origin and accumulation in the Tucheng syncline in western Guizhou Province *Geochemical Journal*, vol. 56, pp. 57-73, URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/geochemj/56/2/56_GJ22005/_article/char/ja/ (дата обращения: 13.03.2026).

Lyons, P. C. (1996) *Coalbed methane potential in the Appalachian states of Pennsylvania, West Virginia, Maryland, Ohio, Virginia, Kentucky and Tennessee an overview* Open-File Report 96-735, Reston. Virginia, URL: <https://pubs.usgs.gov/of/1996/0735/report.pdf> (дата обращения: 16.03.2026).

Mazumder, S.I., Sosrowidjojo, B., Ficarra, A. (2010) *The Late Miocene coalbed methane system in the South Sumatra Basin of Indonesia*, SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Brisbane, Queensland, Australia, Brisbane.

Mojica, L., Mariño, J. (2013) Exploration status and coal bed methane (CBM) possibilities in Boyaca (Colombia), *Boletín de Geología*. vol. 35, pp. 31-43, URL: https://www.researchgate.net/publication/262436438_Exploration_status_and_coal_bed_methane_CBM_posibilities_in_Boyaca_Colombia (дата обращения: 10.04.2026).

Moore, T., Bowe, M., Nas, C. (2014) Nas High heat flow effects on a coalbed methane reservoir. East Kalimantan (Borneo), *Indonesia International Journal of Coal Geology*, vol. 131, pp. 7-31, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166516214001165> (дата обращения: 13.03.2026).

Pashin, J., McIntyre-Redden, M., Mann, S., Kopaska-Merkel, D. (2014) *Water management strategies for improved coalbed methane production in the*

Black Warrior Basin, Final Report, Geological Survey of Alabama, U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, URL: <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/2018-02/fe0000888-final-report.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

Rincón, M., Duarte, B., Parra, C. (2014) *Exploración gas metano asociado al carbón. Área Úmbita–Rondón*, Servicio Geológico Colombiano, M Bogotá, URL: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004002524732/documento/pdf/210524732110-1000.pdf> (дата обращения: 12.03.2026).

Scott, A. (1994) Coalbed gas composition. Upper Cretaceous Fruitland Formation. San Juan Basin. *Colorado and New Mexico Open-File Report OF-94-02* Colorado Geological Survey. Denver Colorado, URL: <https://colorado-geologicalsurvey.org/publications/coalbed-gas-composition-cretaceous-fruitland-san-juan-basin-colorado-new-mexico> (дата обращения: 10.04.2026).

Shukla, P., Mendhe, A., Kamble, D. (2025) Influence of petrographic, geochemical and pore-associated matrix characteristics on CH₄ and CO₂ sorption of coal and shale from Early Permian–Gondwana deposits, India, *ACS Omega*, vol. 10. no. 28, pp. 30060-30086, URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c11499> (дата обращения: 13.03.2026).

Simatupang, D., Amarullah, D. (2010) *Coal bed methane potency of Tanjung Formation in Tanah Bumbu South Kalimantan Buletin Sumber Daya Geologi*, vol. 5, no. 2, pp. 50-57, URL: <https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id/index.php/bsdg/en/article/view/256> (дата обращения: 13.03.2026).

Thielemann, T., Cramer, B., Schippers, A (2004) Coalbed methane in the Ruhr Basin. Germany, a renewable energy resource? *Organic Geochemistry*, vol. 35, no. 11-12, pp. 1537-1549.

Wei, Q., Hu, B., Fang, H. (2022) Composition. origin. and accumulation model of coalbed methane in the Panxie coal mining area, Anhui Province, China *ACS Omega*, vol. 7, no. 21, pp. 17929-17940, doi: 10.1021/acsomega.2c01227, URL: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01227> (дата обращения: 13.03.2026).

Wei, Q., Chen, S., Yi, W. (2024) Gas content. geochemical characteristics and implications of coalbed methane from the Deep Area of Qi’Nan Coalmine in Huaibei, *Scientific Reports*, vol. 14, Article 28334, URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-79922-x> (дата обращения: 13.03.2026).

Xia, P., Zeng, F., Song, X (2016) Parameters controlling high-yield coalbed methane vertical wells in the B3 area, Xishan coal field, Shanxi, *China Energy Exploration*, vol. 34, no. 5, pp. 711-734, URL: https://www.researchgate.net/publication/304403689_Parameters_controlling_highyield_coalbed_methane_vertical_wells_in_the_B3_area_Xishan_coal_field_Shanxi_China (дата обращения: 13.03.2026).

Zhang, B., Deng, Z., Fu, X., Yin, K. (2021) A study on three-phase gas content in coal reservoirs and coalbed methane-water differential distribution in the

western Fukang Mining Area. Xinjiang, *China ACS Omega*, vol. 6, no. 5, pp. 3999-4012, URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c05930> (дата обращения: 13.03.2026).

References

Zimakov, B.M. (1966) *Gazonosnost' ugol'nykh mestorozhdenij Pechorskogo bassejna* [Pechora basin coal fields gas content], dis. ... kand. geol.-mineral. Nauk, Mosk. geol.-razved. in-t im. S. Ordzhonikidze, Moscow, Russia, 425 p.

Tender, O.V. (1981) *Geologicheskie usloviya gazonosnosti ugol'nykh plastov severo-vostochnoj chasti Kuzbassa na primere Anzherskogo i Kemerovsogo rajonov* [Geological conditions of the gas content of coal seams in the northeastern part of Kuzbass on the example of Angerskiy and Kemerovo regions], dis. ... kand. geol.-mineral. Nauk, Moscow, Russia, 235 p.

Zhuravleva, N.V., Potokina, R.R. (2012) Izuchenie komponentnogo sostava gaza, izvlechennogo iz ugol'nogo kerna [Research of composition of gas extracted from coal core], *Energeticheskaya bezopasnost' Rossii*. Novye podkhody k razvitiyu ugol'noj promyshlennosti: sbornik trudov XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kemerovo. 18-21 sent. 2012 g.), In-t uglya SO RAN.), Kemerovo, Russia, 279 p.

Zhuravleva, N.V., Potokina, R.R., Ismagilov, Z.R. (2015) Sostav gaza ugol'nykh plastov Taldinskogo mestorozhdeniya [Gas composition of Taldinskoye coal field], *Khimiya tverdogo topliva*, no. 2, p. 3.

Natsional'nyj doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovyykh gazov. ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom za 1990-2023 gg [National inventory report of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol]. Ch. 1, Institut global'nogo klimata i ekologii im. akad. Yu. A. Izraeliya, Moskva, IGKE RAN, 2025, 422 pp.

Potokina, R.R. (2015) *Issledovanie vzaimosvyazej sorbtzii metana uglyami Pechorskogo ugol'nogo bassejna s ikh fiziko-khimicheskimi svojstvami* [A study of the relationship between methane sorption by coals of the Pechora coal basin and their physicochemical properties] Research on relation betwe: spetsial'nost' 02.00.04 «Fizicheskaya khimiya», avtoreferat dis. ... kand. khim. Nauk, Sibirskij gosudarstvennyj industrial'nyj universitet, Kemerovo, Russia, 17 pp.

Longwall mining Narrabri (2010) *Australia's Mining Monthly Magazine*, URL: <https://www.miningmonthly.com/international-coal-news/news/1270238/longwall-mining-narrabri> (дата обращения: 10.04.2026).

Badyda, K. (2008) *Możliwości zagospodarowania gazu kopalnianego w Polsce dla celów energetycznych*, Energetyka, Czerwiec, URL: <https://www.cire.pl/pliki/2/zagazgkorp.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Badylak, A. (2021) *Activities of Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. in the context of the upcoming European Commission's methane strategy*, 16th Session of the Group of Experts on Coal Mine Methane (Geneva, 3-4 March 2021), Geneva UNECE, URL: <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/15.%20SEP%202021%-20%20JSW.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Beaton, A. (2003) Production potential of coalbed methane resources in Alberta, A. Beaton; Alberta Energy and Utilities Board, EUB/AGS *Earth Sciences Report*, vol. 3, URL: https://static.ags.aer.ca/files/document/ESR/ESR_2003_03.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

Appin Colliery Area 7 Goaf Gas Drainage Project (2009) *Greenhouse Gas Assessment*. Project no. 109033-02-Report 002 Rev 1. Annex C / BHP Billiton Illawarra Coal. Heggies Pty Ltd., URL: <https://gm3.au/wp-content/uploads/2024/06/annex-c-appin-surface-gas-management-project-ghg-assessment.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

Boreck, D., Weaver, J. (1984) Coalbed Methane Study of the “Anderson” Coal Deposit. Johnson County. Wyoming, *A Preliminary Report U. S. Geological Survey*. Open-File Report 84-831, Denver, Colorado, URL: <https://pubs.usgs.gov/of/1984/0831/report.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Dawson, F.M., Marchioni, D.L., Anderson, T.C., McDougall, W.J. (2000) An assessment of coalbed methane exploration projects in Canada, *Geological Survey of Canada*, Bulletin 549, Ottawa, Natural Resources Canada, URL: <https://emrlibrary.gov.yk.ca/gsc/bulletins/549.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

Duarte-Barrera, C. (2022) Más allá de los ensayos de desorción en la exploración del gas asociado al carbón (CBM). Caso Colombia, *Ingeniería y Competitividad*, vol. 24, no. 2, doi: 10.25100/iyc.v24i2.11343. URL: https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/11343 (дата обращения: 10.04.2026).

Rincón, M.A., Peña, M.L., Barajas, Q. (2014) Exploración gas metano asociado al carbón. Área Úmbita-Rondón], *Servicio Geológico Colombiano*, (Bogotá), 209 p. URL: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004002524732/documento/pdf/2105247321101000.pdf> (дата обращения: 13.04.2026).

Duarte Barrera, C.I., F. A., Parra Cristancho, F. A., Ortiz Mullett L. F. (2016) Exploración gas metano asociado al carbón. Área El Carmen de Chucuri. Santander, *Servicio Geológico Colombiano*, (Bogotá), 214 p., URL: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004002524825/documento/pdf/2105248251101000.pdf> (дата обращения: 13.04.2026).

Ortiz Mulett, L. F., Parra, F. A., Cristancho, C. I., Duarte Barrera (2016) *Exploración gas metano asociado al carbón*. Area Landázuri, Vélez. Departamento de Santander Servicio Geológico Colombiano. (Bogotá), Servicio Geológico Colombiano, 202 p. URL: <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=340120101013470656000000000> (дата обращения: 13.04.2026).

Ortiz Mullet, L.F., Parra, F. A., Duarte, C. I. (2018) *Exploración de gas metano asociado al carbón. Área Machetá-Jenesano*, Servicio Geológico Colombiano, (Bogotá) Servicio Geológico Colombiano, 179 pp. URL: <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=340120101046761323000000000> (дата обращения: 13.04.2026).

Duarte Barrera, C.I, Ortiz Mulett, Ortiz Mulett, F. A., Parra Cristancho, F. A. (2019) *Prospección de gas Metano asociado al Carbón. Área Cucunubá – Guachetá*. Cundinamarca, Servicio Geológico Colombiano, (Bogotá) Servicio Geológico Colombiano, 211 p. URL: <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx#Default=%7B%22k%22%3A%22k%22%7D#5b6e701c-f4f2-4f6c-91ae-a069d1dfb-028=%7B%22k%22%3A%22Guachetá%22%7D> (дата обращения: 13.04.2026).

Carbón, Geociencias, Geodinámica externa Presentation El Carbon (2021) URL: <https://ru.scribd.com/document/537292459/CARBON-GEOCIENCIAS-GEODI-NAMICA-EXTERNA> (дата обращения: 10.04.2026).

Statistical World Review of Energy 2025 (2025) Energy Institute, London, Energy Institute, 75 p., ISBN 978-1-78725-474-9. .

Abandoned Coal Mine Methane Opportunities Database (2008) U.S. Environmental Protection Agency, URL: https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/amm_opportunities_database.pdf (дата обращения: 13.03.2026).

Gray, A., Aminossadati, S., Stolberg, D. (2007) *Goaf Drainage Design for Moranbah North Mine*, Australian Mining Technology Conference (2-4 Oct. 2007), URL: https://www.researchgate.net/publication/43478541_Goaf_drainage_design_for_Moranbah_North_Mine (дата обращения: 12.03.2026.).

Harfiandri, M.S., Wioso. Y.B., Rahmanita, D. (2022) *Analysis of the use of methane gas in coal seams in South Sumatera Basin in Muara Enim Formation*, Proceedings of PIT IAGI 51st 2022 (Makassar. South Sulawesi), URL: <https://www.iagi.or.id/web/digital/71/PITIAGI-22-S-Abs-070.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Haitao, L., Tang, Li. S. (2024) Origin and accumulation mechanisms of coalbed methane in low-rank coals in gas-rich sags in the Erlian Basin, *Coal Geology & Exploration*, vol. 52, no. 2, URL: <https://cge.researchcommons.org/journal/vol52/iss2/8> (дата обращения: 13.03.2026).

Hauptfleisch, L. (2010) Fuel Cell Power Generator Project Methane to Markets Expo (New Delhi. India), URL: https://www.globalmethane.org/expo-docs/india10/postexpo/coal_hauptfleisch.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

Narrabri Coal Mine (2009) Stage 2 Longwall Project. Greenhouse Gas Assessment *Specialist Consultant Studies Compendium*, vol. 2. no. 8, Heggies Pty Ltd; Narrabri Coal Operations Pty Ltd, URL: <https://whitehavencoal.com.au/Documentations/Narrabri%20Mine/Environmental%20Management.%20Monitoring%20%26%20Compliance/Environmental%20Assessments%20-%20Narrabri>

%20Stage%202/NAR-%20Stage%202%20EA%20Specialist-Part%208%20-%20-Greenhouse%20Gas%20Assessment.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) H.S. Eggleston. L. Buendia. K. Miwa, Hayama, IGES. 2006.

Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2019) E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, Geneva, IPCC, 2019.

Climate Change (2023) Synthesis Report. Contribution of Working Groups I. II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, H. Lee. J. Romero, Geneva, IPCC.

Kotarba, M.J. (2001) Composition and origin of coalbed gases in the Upper Silesian and Lublin basins, Poland *Organic Geochemistry*, vol. 32, no. 1, pp. 163-180.

Bowen Basin Coal Resources Assessment Repor. Bowen Basin Coal Study Group. KPMG. (Brisbane) Queensland Government (2021) URL: https://www.resources.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0008/1592855/bowen-basin-study-final-report.pdf (дата обращения: 10.04.2026).

Li, Y., Yao, C., Yang, S. (2021) Study on origin and accumulation mechanism of coalbed methane in Miquan area of southern margin of Zhunggar Basin *Coal Science and Technology*, vol. 49, no. 4, pp. 220-226, URL: <https://www.mtkxjs.com.cn/en/article/pdf/preview/10.13199/j.cnki.cst.2021.04.027.pdf> (дата обращения: 13.03.2026).

Lu, Z., Tao, Q. Li. (2021) Gas geochemistry and hydrochemical analysis of CBM origin and accumulation in the Tucheng syncline in western Guizhou Province *Geochemical Journal*, vol. 56, pp. 57-73, URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/geochemj/56/2/56_GJ22005/_article/char/ja/ (дата обращения: 13.03.2026).

Lyons, P. C. (1996) *Coalbed methane potential in the Appalachian states of Pennsylvania, West Virginia, Maryland, Ohio, Virginia, Kentucky and Tennessee an overview* Open-File Report 96-735, Reston. Virginia, URL: <https://pubs.usgs.gov/of/1996/0735/report.pdf> (дата обращения: 16.03.2026).

Mazumder, S.I., Sosrowidjojo, B., Ficarra, A. (2010) *The Late Miocene coalbed methane system in the South Sumatra Basin of Indonesia*, SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Brisbane, Queensland, Australia, Brisbane.

Mojica, L., Mariño, J. (2013) Exploration status and coal bed methane (CBM) possibilities in Boyaca (Colombia), *Boletín de Geología*. vol. 35, pp. 31-43, URL: https://www.researchgate.net/publication/262436438_Exploration_status_and_coal_bed_methane_CBM_posibilities_in_Boyaca_Colombia (дата обращения: 10.04.2026).

Moore, T., Bowe, M., Nas, C. (2014) Nas High heat flow effects on a coalbed methane reservoir. East Kalimantan (Borneo), *Indonesia International Journal of*

Coal Geology, vol. 131, pp. 7-31, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166516214001165> (дата обращения: 13.03.2026)..

Pashin, J., McIntyre-Redden, M., Mann, S., Kopaska-Merkel, D. (2014) *Water management strategies for improved coalbed methane production in the Black Warrior Basin, Final Report*, Geological Survey of Alabama, U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, URL: <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/2018-02/fe0000888-final-report.pdf> (дата обращения: 10.04.2026).

Rincón, M., Duarte, B., Parra, C. (2014) *Exploración gas metano asociado al carbón. Área Úmbita–Rondón*, Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, URL: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004002524732/documento/pdf/210524732110-1000.pdf> (дата обращения: 12.03.2026)..

Scott, A. (1994) *Coalbed gas composition. Upper Cretaceous Fruitland Formation*. San Juan Basin. Colorado and New Mexico Open-File Report OF-94-02 Colorado Geological Survey. Denver Colorado, URL: <https://coloradogeologicalsurvey.org/publications/coalbed-gas-composition-cretaceous-fruitland-san-juan-basin-colorado-new-mexico> (дата обращения: 10.04.2026).

Shukla, P., Mendhe, A., Kamble, D. (2025) Influence of petrographic, geochemical and pore-associated matrix characteristics on CH₄ and CO₂ sorption of coal and shale from Early Permian–Gondwana deposits, India, *ACS Omega*, vol. 10, no. 28, pp. 30060-30086, URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c11499> (дата обращения: 13.03.2026).

Simatupang, D., Amarullah, D. (2010) Coal bed methane potency of Tanjung Formation in Tanah Bumbu South Kalimantan *Buletin Sumber Daya Geologi*, vol. 5, no. 2, pp. 50-57, URL: <https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id/index.php/bsdg/en/article/view/256> (дата обращения: 13.03.2026).

Thielemann, T., Cramer, B., Schippers, A (2004) Coalbed methane in the Ruhr Basin. Germany, a renewable energy resource? *Organic Geochemistry*, vol. 35, no. 11-12, pp. 1537-1549.

Wei, Q., Hu, B., Fang, H. (2022) Composition. origin. and accumulation model of coalbed methane in the Panxie coal mining area, Anhui Province, *China ACS Omega*, vol. 7, no. 21, pp. 17929-17940, doi: 10.1021/acsomega.2c01227, URL: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01227> (дата обращения: 13.03.2026).

Wei, Q., Chen, S., Yi, W. (2024) Gas content. geochemical characteristics and implications of coalbed methane from the Deep Area of Qi'Nan Coalmine in Huaibei, *Scientific Reports*, vol. 14, Article 28334, URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-79922-x> (дата обращения: 13.03.2026).

Xia, P., Zeng, F., Song, X (2016) Parameters controlling high-yield coalbed methane vertical wells in the B3 area, Xishan coal field, Shanxi, *China Energy Exploration*, vol. 34, no. 5, pp. 711-734, URL: <https://www.researchgate.net/>

publication/304403689_Parameters_controlling_high-yield_coalbed_methane_vertical_wells_in_the_B3_area_Xishan_coal_field_Shanxi_China (дата обращения: 13.03.2026).

Zhang, B., Deng, Z., Fu, X., Yin, K. (2021) A study on three-phase gas content in coal reservoirs and coalbed methane-water differential distribution in the western Fukang Mining Area. Xinjiang, *China ACS Omega*, vol. 6, no. 5, pp. 3999-4012, URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c05930> (дата обращения: 13.03.2026).

Статья поступила в редакцию (Received): 15.04.2026.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 29.04.2026.

Для цитирования / For citation:

Попов, Н.В., Миронов, А.А., Сингх, А.К. (2026) Обзор среднего состава газа угольных пластов по странам и макрорегионам, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVII, № 1-2, с. 21-45, doi: 10.24412/2782-3237-2026-1-2-21-45.

Popov, N.V., Mironov, A.A., Singh, A.K. (2026) Overview of the average coal seam gas composition by country and region, *Ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XXXVII. no. 1-2, pp. 21-45, doi: 10.24412/2782-3237-2026-1-2-21-45.