

**ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ  
ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЯ:  
СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОКРАЩЕНИЯ*****Я.Ю. Блиновская<sup>1</sup>, Е.А. Мазлова<sup>2</sup>***<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, blinovskaya@hotmail.com<sup>2</sup> Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина

Приводится анализ воздействия выбросов парниковых газов в атмосферу при добыче угля в России за десятилетний период. На территории России расположено 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений. Доля угледобывающей индустрии в структуре выбросов парниковых газов в сравнении другими объектами топливно-энергетического комплекса относительно невысока, однако в связи с ростом добычи угля совокупный объем выбросов увеличивается. Политическое и финансовое давление на угледобывающие компании является основанием для разработки технологий и технических решений, направленных на снижение негативного воздействия от добывающих и обрабатывающих производств.

*Ключевые слова:* парниковые газы, добыча угля, загрязнение атмосферы, сокращение выбросов, экологически ориентированные технологии.

**GREENHOUSE GASES EMISSIONS AT COAL  
PRODUCTION AND PROCESSING:  
PROBLEM STATUS AND DECREASE TECHNOLOGIES*****Blinovskaya Ya. Yu.<sup>1</sup>, Mazlova E. A.<sup>2</sup>***<sup>1</sup> Far Eastern Federal University<sup>2</sup> Oil and Gas Russian State University named after I.M. Gubkin

The impact of greenhouse gases emission into the atmosphere at coal mining in Russia for the ten-year period is considered. There are 22 coal basins and 129 coal fields in the Russia. The share of the coal-mining industry in structure of greenhouse gases emissions in comparison with other objects of the fuel and energy complex is relatively low; however due to the growth of coal production, the total emissions increases. Political and financial pressure on coal-mining companies is the basis for development of the technologies and technical solutions aimed at reducing the negative impact of mining and manufacturing industries.

*Key words:* greenhouse gases, coal mining, atmosphere pollution, decrease of release, ecologically focused technologies.

**Введение**

Вопросы эмиссии парниковых газов занимают важное место в ряду глобальных экологических проблем, что является актуальным и для России [1, 6, 9, 18]. По результатам анализа государственных докладов «О состоянии и об охране

окружающей среды Российской Федерации» и «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» [2] установлено, что за последние пять лет не менее 70 % выбросов парниковых газов в России приходится на предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Это важная составляющая российской экономики, в структуре которой выделяются добыча и переработка угля. Данный факт обозначен и на заседании Комиссии по вопросам стратегии развития ТЭК и экологической безопасности, где было отмечено, что добыча угля в России в 2018 г. может превысить рубеж в 420 млн т, приблизившись к уровню добычи советского периода [16]. Объемы обогащения также увеличатся до 195 млн т, что обуславливает необходимость не только количественной оценки выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ, включая парниковые газы, но и поиска путей их сокращения.

Целью настоящей работы является проведение обзора выполнения комплексного плана реализации климатической доктрины Российской Федерации при добыче и переработке угля.

### Материалы и методы анализа

На территории России расположены 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений. Распределение запасов угля по территории страны неравномерно. Добыча угля ведется в семи федеральных округах и 25 субъектах Российской Федерации. Ее осуществляют 161 угольное предприятие, в том числе 53 угольные шахты и 106 разрезов совокупной производственной мощностью 450 млн т (на 1 января 2018 г.). Свыше 2/3 разведанных запасов сосредоточено в пределах двух угольных бассейнов — Канско-Ачинского бурогоугольного бассейна (Красноярский край, Кемеровская область) и Кузнецкого каменноугольного бассейна (Кемеровская область) (рис. 1). В 2017 г. рост добычи угля в России ускорился до 5,7 %, составив 408,9 млн т. При этом 74 % угля было добыто открытым способом (+1 % к 2016 г.). Центром российской добычи является Кузнецкий угольный бассейн (59,0 % общероссийской добычи). В числе других крупных добывающих угольных бассейнов следует отметить Канско-Ачинский (9,4 %), Южно-Якутский (4,3 %), Печорский (2,2 %) и Донецкий (1,4 %). Около половины добываемого угля поставляется на внешний рынок (рис. 2), обеспечивая России третье место в мире по объемам экспорта.

Из рис. 3 видно, что основная угледобыча приходится на Сибирский федеральный округ. Доля других округов незначительна, при этом в них отмечается незначительное сокращение объема добычи. Данная тенденция сохраняется в течение последних семи лет.

В России добывается преимущественно каменный уголь (около 82 % в 2017 г.). На долю коксующегося угля по итогам года пришлось около 21 % общей добычи. В основном его добычу обеспечивает Кузнецкий угольный бассейн. Практически весь коксующийся уголь в России обогащается. Объем обогащения энергетического угля в 2017 г. продолжил расти (на 6,8 %). Общий объем переработки угля на обогатительных фабриках России в 2017 г. достиг 191,2 млн т, что на 2,4 % больше, чем в 2016 г. [5].



Рис. 1. Основные угольные бассейны России [10].

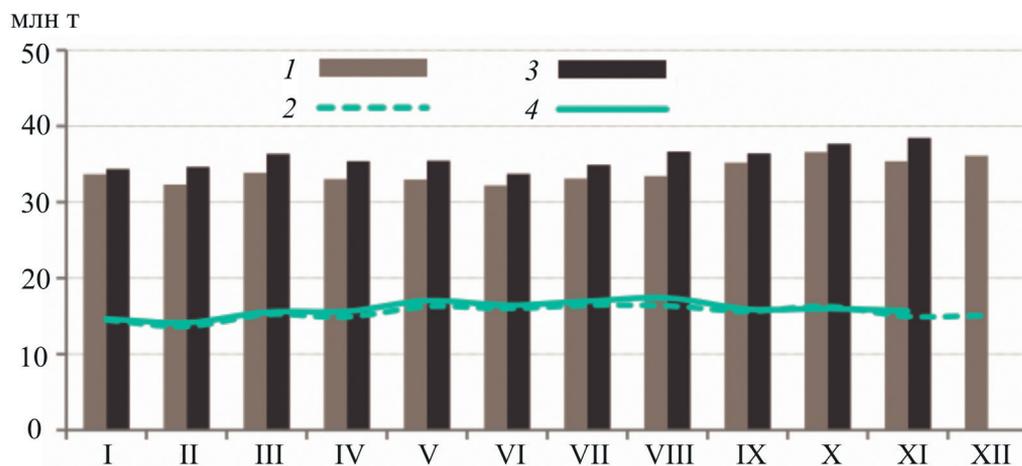


Рис. 2. Добыча и экспорт угля в 2017—2018 гг. [4].

1 — добыча в 2017 г., 2 — экспорт в 2017 г., 3 — добыча в 2018 г., 4 — экспорт в 2018 г.

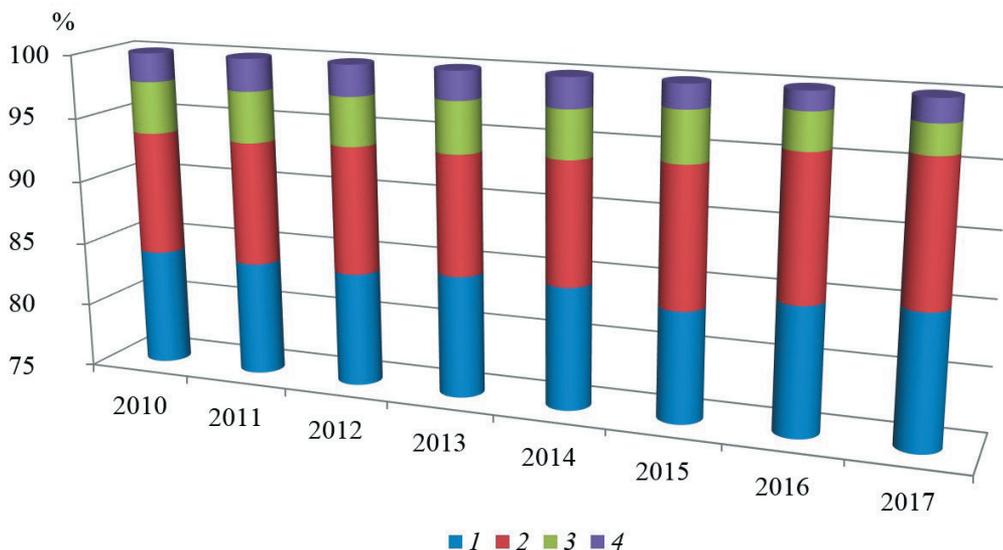


Рис. 3. Доля (%) федеральных РФ округов в добыче угля.

1 — Сибирский ФО, 2 — Дальневосточный ФО, 3 — Северо-Западный ФО, 4 — другие ФО.

В угольной отрасли России доминируют крупные угледобывающие и металлургические холдинги. В 2017 г. топ-10 компаний отрасли обеспечили около 71 % национальной добычи. Почти все компании-лидеры по итогам года увеличили добычу, что характерно и для 2018 г. По результатам анализа угледобычи в первом квартале 2018 г. лидировали группа компаний АО «СУЭК» (28 509 тыс. т), ОАО УК «Кузбассразрезуголь» (10 659 тыс. т) и ЕВРАЗ (8525 тыс. т).

По предварительным данным Минэнерго России, показатели добычи и экспорта угля вновь превысили прошлогодний уровень: в июле 2018 г. по отношению к июлю 2017 г. добыча выросла на 4,5 %, а экспорт — на 2,7 %. Стабильный рост экспорта с начала года стимулирует компании к расширению экспортных терминалов [19, 20]. Так, «Дальтрансуголь» планирует расширение угольного терминала в Ванинском районе Хабаровского края. Ведутся проектные работы по строительству угольных терминалов Суходол и порт Вера в Приморском крае.

Основными экспортными направлениями являются страны Восточной Азии. В первом полугодии 2018 г. лидером по импорту российского угля стал Китай (12,9 млн т, прирост 8,6 % по отношению к первому полугодью 2017 г.). Наряду с ним, ключевыми направлениями экспорта являются Япония и Республика Корея.

### Результаты и их обсуждение

Основные риски для дальнейшего распространения угольной генерации в мире связаны с технологическим развитием (снижением издержек генерации на базе возобновляемых источников энергии) и регуляторным давлением на уголь

(как один из наиболее углеродоемких источников энергии). В соответствии с этим в Бонне на 22-й Конференции ООН по изменению климата в 2017 г. по инициативе Великобритании и Канады сформирован «Альянс против угля», объединивший 28 стран, поддерживающих отказ от угольной генерации. Великобритания планирует прекратить использовать уголь к 2025 г., Канада — к 2030 г.; Франция намерена прекратить использование угля уже к 2021 г. Крупные потребители угля также обозначили намерения утвердить даты отказа от угля. Таким образом, политическое и финансовое давление на угледобывающие компании является основанием для разработки технологий и технических решений, направленных на снижение негативного воздействия от добывающих и обрабатывающих производств.

Вместе с тем, по данным Федеральной службы государственной статистики, доля угледобывающей индустрии в структуре выбросов парниковых газов в сравнении с другими объектами ТЭК относительно невысока [17]. На рис. 4 представлены данные о выбросе парниковых газов в России за период с 2010 по 2016 г. Однако в связи с ростом добычи угля, совокупный объем выбросов увеличивается.

Согласно расчетам, содержание метана в угольных шахтах России составляет около 50—80 трлн т, что позволяет рассматривать угольные месторождения с позиции добычи не только угля, но и метана. Вопросы снижения выбросов метана решаются путем разработки способов и средств его утилизации на полях действующих шахт, которые, в свою очередь, связаны с решением проблем эффективного извлечения газа и, следовательно, с вопросом безопасности ведения горных работ. В этой связи перспективной представляется технология гидрорасчленения угольных пластов [14]. Сущность технологии гидрорасчленения заключается в закачке рабочей жидкости в пласт через скважины с темпом, превышающим естественную приемистость пласта и обеспечивающим раскрытие, расширение и соединение пластовых трещин. Использование данного подхода позволит снизить

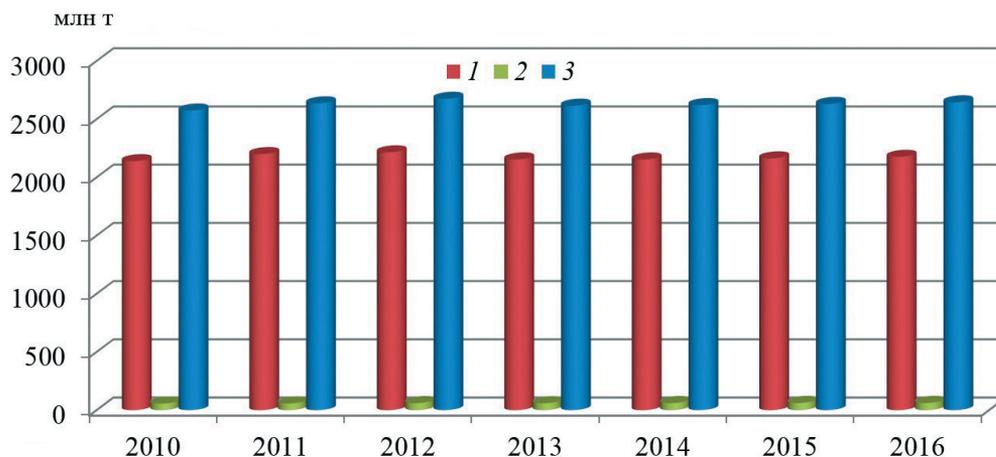


Рис. 4. Совокупные выбросы парниковых газов (млн тонн  $\text{CO}_2$ -эквивалента в год).

1 — ТЭК, 2 — добыча угля, 3 — все источники.

поступление метана в атмосферу в среднем на 35 %. При этом использование факельной утилизации обеспечит снижение выбросов парниковых газов на 8,4—21 тыс. т в углеродном эквиваленте при добыче 1 млн т угля, что гарантирует значительный экологический эффект. Экономическая выгода от использования метана дегазационной сети при оптимизации режима гидравлической обработки угольных пластов составляет в среднем 27 %.

В целом отмечается неустойчивая динамика выбросов парниковых газов предприятиями угольной промышленности. С 2009 г. отмечается устойчивое снижение выбросов, в том числе  $\text{CO}_2$  и метана на 29,3 %. Так, в 2010 г. выбросы  $\text{CH}_4$  составили 2204,92 тыс. т, включая 1398,54 тыс. т при добыче подземным способом и 806,39 тыс. т при добыче открытым способом. Выбросы  $\text{CO}_2$  составили 1401,95 и 833,73 тыс. т соответственно. В 2017 г. предприятия отрасли выбросили в атмосферу 1104,1 тыс. т загрязняющих веществ, в том числе 954,5 тыс. т углеводородов (шахтного метана). По сравнению с 2016 г. выбросы увеличились на 9,6 %. В условиях роста объемов добычи угля в 2017 г. на 6,0 % удельные выбросы увеличились на 3,8 %.

Изменение структуры добычи наряду с масштабным техническим перевооружением отрасли способствовали повышению энергоэффективности отрасли [11]. Энергоемкость открытого способа добычи в 2,1 раза ниже по сравнению с подземным способом. Открытый способ добычи менее электроемкий (в 1,8 раза) и теплоемкий (в 2,8 раза), чем подземный, хотя и превосходит последний по удельному потреблению дизельного топлива.

Угледобывающий сектор реализует целенаправленную политику по сокращению выбросов парниковых газов с учетом требований Энергетической стратегии России, что приводит к совокупным экологическим, экономическим и ресурсным выгодам. Предприятия реализуют различные программы, обеспечивающие уменьшение объемов выбросов [7, 8]. Анализ деятельности компаний по добыче, хранению и транспортировке угля позволил выделить ряд технологий, способствующих сокращению выбросов парниковых газов, которые можно сгруппировать следующим образом.

*Технологии мониторинга.* В 2017 г. эти методы активно реализовывались в основных угледобывающих бассейнах. При этом процедуры проводились на границе санитарно-защитной зоны на 25 предприятиях, инструментальные замеры промышленных выбросов в атмосферу от источников предприятия, лабораторные исследования по определению эффективности газоочистительных установок — на 27 предприятиях.

*Технологии энергоэффективности:*

— интеллектуальные технологии энергетики (роботизированные комплексы, обеспечивающие разработку тонких и крутых пластов с высокой селективностью с использованием новых методов математического моделирования геофизического состояния горных выработок и оптимизации извлечения угля);

— двигатели и передачи с повышенными характеристиками (двигатели Ванкеля, дизельные двигатели с прямым впрыскиванием и т.д.); в 2017 г. на ООО

«Разрез «Бунгурский-Северный», АО «Приморскуголь» осуществлялись замеры выхлопных газов от автомобилей и производился контроль за регулировкой двигателей;

— энергосбережение производственных процессов (сепарационные процессы, процессы, сушки, системы контроля энергопотребления); так, перспективной представляется технология извлечения угля из породной массы отвалов с помощью противоточных гравитационных сепараторов канализационной насосной станции, которая позволяет получать кондиционный энергетический уголь зольностью не более 25 % и высокозольный отход с содержанием золы 70—80 %.

*Технологии возобновляемой энергетики.* Получение и утилизация свалочного газа.

*Низкоэмиссионные технологии топливной энергетики:*

- сжигание с псевдосжижением в атмосфере,
- сжигание с псевдосжижением под давлением,
- обогащение угля,
- водоугольные суспензии.

*Технологии угледобычи:*

— утилизация метана, образующегося в пустотах выработанных шахт;

— утилизация метана, выделяющегося через трещины, перед началом активной разработки месторождения;

— комплексные способы утилизации метана;

— внедрение передовых методов пылеподавления. Эти технологии внедрены за последний год на трех российских предприятиях. На АО ХК «Якутуголь» в 2017 г. были использованы взрывчатые вещества с кислородным балансом, близким к нулю (гранулиты, сибириты), а также гидрозабойка скважин. Системы электронного взрывания внедрены в ООО «Шахтоуправление «Майское». На АО «Разрез Октябрьский» используются неэлектрические системы инициирования при проведении массовых взрывов.

Процессы переработки угля связаны с высокой энергоемкостью, в связи с чем серьезно рассматривается вопрос о диверсификации производства, прежде всего в области развития углехимии. Согласно исследованиям, проведенным компанией «En+», активное внедрение новых технологий в угольной промышленности не приведет к сокращению выбросов парниковых газов, поскольку углехимия, являясь процессом энергоемким, будет генерировать на 5—15 % больше выбросов углекислого газа в сравнении с обычным сжиганием угля.

Некоторые углехимические технологии рассчитаны на использование низкокачественного угля для получения продуктов газа. Наиболее интересными представляются разработки новых технологий получения угольного пека, которыми занимаются в Институте нефти и газа СФУ в рамках совместного проекта с «Русалом». Преимущество новой технологии заключается в повышении эффективности переработки угля, когда из тонны угля вместо 1,5—2 % можно получить до 40 % связующего пека практически с отсутствием газообразных отходов. Объем инвестиций в угольную отрасль собственниками составляет около 40 млрд рублей, при этом заемный капитал составляет не более 3 млрд рублей. За период

с 2015 г. зарегистрировано 56 патентов на переработку угля и углеотходов. Однако при этом на практике из них не реализовано ни одного [12].

Так, для утилизации угольного метана перспективным представляется использование вакуум-насосных станций. Суть процесса заключается в подземной газификации угля, в том числе с получением генераторного газа и последующим его использованием для производства электрической и тепловой энергии на месте добычи. При этом метан подается в котельные, которые обогревают шахты, и туда же поступает электричество, вырабатываемое энергетическими установками. Данные технологии успешно апробированы на шахтах компании «СУЭК-Кузбасс» [15], что позволило обеспечить около 30 % потребности предприятия в теплоэнергоресурсах. Сокращение выбросов парниковых газов составило около 134 400 т эквивалента  $\text{CO}_2$ .

Еще одним решением, способствующим снижению выбросов парниковых газов, является использование технологий гидродобычи угля с получением водоугольного топлива и доставкой его потребителям (электростанциями и котельными) в районе добычи. Однако имеющиеся технологии подземной газификации угля пока не отвечают современным требованиям и не готовы к массовому применению по экономическим и техническим причинам. В частности, не решены главные проблемы: а) обеспечение надежного контроля и управления процессом газификации в пределах угольного пласта; б) получение газа стабильного качества, пригодного для эффективного использования в энергетике и при производстве моторных топлив и химических продуктов; в) гарантирование экологической безопасности; г) достижение экономической конкурентоспособности с прочими видами топлива.

Для широкого применения технологий гидродобычи, производства и транспортирования водоугольного топлива потребуются обеспечить их экономическую состоятельность, а также решить ряд технических проблем, в числе которых обеспечение длительного хранения топлива без расслаивания, надежная работа системы в зимних условиях и др. В качестве перспективных дополнительных технологий следует указать геоинформационные технологии и средства контроля состояния горного массива, а также методы и технические средства управления этим состоянием, обеспечивающие своевременное предсказание и предотвращение опасных газодинамических явлений в угольных шахтах, в том числе горных ударов, внезапных выбросов угля и газа и др. [13].

Шахта «Воргашорская» (входит в состав АО «Воркутауголь») вложила 24 млн рублей в модернизацию котельной на участке паросилового хозяйства. Один из шести паровых котлов начал работать на шахтном метане. Шахтная система дегазации улавливает и выводит на поверхность метан, который выделяется из горного массива при добыче угля. Его утилизация не только благоприятно сказывается на состоянии окружающей среды благодаря снижению выбросов в атмосферу, но и позволяет обогревать воздух, который подается в шахту. Благодаря реконструкции на шахте «Воргашорская» существенно повышена эффективность котла. Установка способна вырабатывать около 10 т пара в час, что позволяет ежегодно экономить до 80 т угля [3].

Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН проведено исследование газификации отходов угольной и лесной промышленности в высокотемпературном водяном паре на лабораторных установках. Установлено, что при добавлении определенного объема оксида кальция скорость конверсии увеличивается. Это способствует минимизации негативных последствий сжигания отходов. Соответственно, сокращается эмиссия парниковых газов.

### Выводы

Следует отметить, что отечественные угольные компании в очень небольшой степени вовлечены в разработку нового оборудования. Они предпочитают приобретать его в готовом виде, ориентируясь в основном на соотношение цена / качество. По этому критерию приоритет в большинстве случаев отдается продукции зарубежных производителей. Существенное сокращение выбросов этих газов в отрасли весьма проблематично из-за горно-геологических условий и отсутствия необходимых технологий. По этим причинам ратификация Парижского соглашения по климату приведет к дополнительным затратам угольных компаний и предприятий и росту себестоимости добычи угля.

Таким образом, для минимизации негативного воздействия в угольной индустрии и сокращения выбросов парниковых газов необходима разработка оптимальных стратегий корректировки технологических решений на всех объектах добычи и переработки угля, включая расширение программ экологического мониторинга и внедрение инновационных решений, способствующих сокращению эмиссии парниковых газов на всех этапах производственного цикла.

### Список литературы

1. Бедрицкий А.И., Блинов В.Г., Варгин П.Н., Метальников А.П. Клияние климатических и географических условий и структурных особенностей экономики России на антропогенную эмиссию парниковых газов // Энергетическая политика. 2009. № 1. С. 3—11.
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах» [Электронный ресурс] URL: [http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady](http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady) (дата обращения 19 октября 2018 г.).
3. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» (проект). М: Министерство природных ресурсов и экологии, 2017. 897 с. [Электронный ресурс] URL: <http://www.mnr.gov.ru/docs/> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
4. Добыча угля в России и его экспорт [Электронный ресурс] URL: <https://smart-lab.ru/uploads/images/01/73/60/2018/02/23/1c78a279c9.png> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
5. Итоги работы угольной промышленности России [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/itogi-raboty-ugolnoy-promyshlennosti-rossii-za-yanvar-mart-2018-goda> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
6. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Безносова Д.С. Эмиссия парниковых газов в ТЭК России: история и перспективы // Известия РАН. Энергетика. 2003. № 1. С. 86.
7. Коробова О.С., Михина Т.В. Потенциал снижения эмиссии парниковых газов и безопасность труда углепромышленного региона // Охрана и экономика труда. 2013. № 1 (10). С. 29—35.
8. Макаров А.А. Средства и следствия сдерживания эмиссии парниковых газов в энергетике России // Известия РАН. Энергетика. 2008. № 5. С. 3—18.
9. Малинин В.Н. Глобальный экологический кризис и климат // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 11—32.

10. Месторождения угля. Запасы и ресурсы. [Электронный ресурс] URL: [https://studfiles.net/html/2706/294/html\\_wWuSQ8qqFr.Kvwu/img-Ze4A76.png](https://studfiles.net/html/2706/294/html_wWuSQ8qqFr.Kvwu/img-Ze4A76.png) (дата обращения 19 октября 2018 г.).
11. Научно-обоснованные предложения по разработке и методам внедрения инновационных технологий утилизации выбросов, содержащих метан [Электронный ресурс] URL: <http://tykovodstvo.ru/exspl/7444/index.html> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
12. Портал недропользователей. [Электронный ресурс] URL: <https://dprom.online/2016/02/05/bojtes-danajtsev-daryu-grinosyashhih/> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
13. Прогноз научно-технического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года // Министерство энергетики Российской Федерации. М., 2016 [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/6365> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
14. *Сысенко В.А.* Снижение выбросов парниковых газов при разработке углегазовых месторождений на основе совершенствования технологии гидрорасчленения угольных пластов. Дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 129 с.
15. Уголь Кузбасса. [Электронный ресурс] URL: <http://www.uk42.ru/index.php?id=892> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
16. Уголь России и мира: производство, потребление, экспорт, импорт [Электронный ресурс] URL: [http://www.cdu.ru/tek\\_russia/articles/5/499/](http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/) (дата обращения 19 октября 2018 г.).
17. Федеральная служба государственной статистики. Окружающая среда: изменение климата [Электронный ресурс] URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/environment/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/#) (дата обращения 19 октября 2018 г.).
18. *Шахвердиев А.Х., Ибраимова И.Ш., Керимов Ф.Н., Гусейнова А.Б., Гусейнова Ш.М., Шахвердиев Э.А., Гусейнов А.Р.* Природная и техногенная эмиссия выбросов парниковых газов: негативные последствия для экосистем и пути их предотвращения // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. № 4 (23). С. 62.
19. Экология и экономика: рост загрязнения атмосферы. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Июль 2018 г. № 39. [Электронный ресурс] URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/14708.pdf> (дата обращения 19 октября 2018 г.).
20. Энергетический бюллетень. Эффективность нефтяных компаний. Август 2018 г. № 63. [Электронный ресурс] URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/17654.pdf> (дата обращения 19 октября 2018 г.).