

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Е. П. Майсюк, И. Ю. Иванова
Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева
Сибирского отделения РАН (Иркутск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 2 октября 2019 г.

Освоение природных ресурсов арктической зоны Дальнего Востока России потребует интенсивного развития производственной и социальной инфраструктуры, и в первую очередь энергетики. Для выбора и обоснования схем энергоснабжения одним из важных моментов является экологическая оценка влияния энергообъектов на природную среду. Анализ параметров энергоисточников на исследуемой территории показал, что в настоящее время в энергетических объектах сжигаются практически все виды органического топлива. Расчет количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании этих видов топлива в котельных и электростанциях позволил выявить наименее опасные из них – природный газ и жидкие виды топлива.

Ключевые слова: арктическая зона, удельный выброс в атмосферу, котельные, теплоэлектростанция, дизельная электростанция, природная среда.

Введение

В последние годы Правительство России уделяет большое внимание вопросам развития арктических территорий страны. Приняты, актуализированы и пролонгированы многие программные документы федерального уровня, определяющие цели, стратегические приоритеты, основные задачи и механизмы реализации государственной политики в Арктике [1—3]. В числе приоритетных обозначено множество проектов освоения месторождений минерально-сырьевых ресурсов, расположенных на необжитой территории. Важным моментом при реализации таких проектов является не только сохранение достигнутого уровня добычи ресурсов и повышение социально-экономического уровня развития территорий, но и открытие новых месторождений [4].

К арктическим территориям Дальнего Востока России отнесены две из восьми опорных зон Арктики — Северо-Якутская и Чукотская. Как правило, новые месторождения в них находятся в зоне

локального электроснабжения и сезонной транспортной доступности. К проблемам реализации проектов относятся неразвитость энергетической инфраструктуры, нерациональная структура генерирующих мощностей, высокая себестоимость генерации и транспортировки электроэнергии на этих территориях.

Ввиду перспективности освоения природных богатств арктических территорий требуются разработка и обоснование рациональных схем энергоснабжения как промышленных потребителей, так и населения. При этом одними из основных факторов являются экологические, которые служат своего рода ограничениями при выборе варианта энергоснабжения и отражают региональные особенности территорий, объемы выбросов/сбросов и количество отходов в результате производства электрической или тепловой энергии.

Текущее экологическое состояние в арктических районах Дальнего Востока можно охарактеризовать как напряженное: по данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» наибольшую

суммарную антропогенную нагрузку испытывает Республика Саха (Якутия), наименьшую — Чукотский автономный округ (ЧАО) [5, с. 713—714].

Дальнейшее развитие арктических территорий в первую очередь требует создания надежных систем энергоснабжения, для которых необходимо проводить и экологические оценки. На начальном этапе таких исследований предлагается оценить количество выбросов, образующихся при использовании того или иного вида топлива, характерного для арктических территорий Дальнего Востока России, на различных энергоисточниках: тепловых (ТЭС) и дизельных электростанциях (ДЭС), котельных малой мощности.

Основные характеристики используемого топлива

Централизованное электроснабжение в арктических районах Дальнего Востока представлено только на территории Чукотского автономного округа в составе трех изолированных энергоузлов: Анадырского, Эгвекинотского и Чаун-Билибинского. В энергоузлы объединены относительно крупные электростанции. На Анадырской ТЭС и Эгвекинотской ГРЭС сжигается анадырский уголь, газомоторная ТЭС в качестве топлива использует газ Западно-Озерного месторождения, от которого проложен газопровод. Чаунская ТЭС работает на зырянском каменном угле, доставляемом водным путем из Республики Саха (Якутия). Электроснабжение потребителей остальной территории округа и арктических районов Республики Саха (Якутия) осуществляется от автономных электростанций, использующих дальнепривозное дизельное топливо.

На котельных в арктических районах Дальнего Востока применяется уголь Зырянского, Джебарики-Хайского, Анадырского месторождений, а также дизельное топливо, сырая нефть, газовый конденсат и в незначительных объемах дрова.

В настоящее время обсуждаются проблемы, возможности и эффективность использования на арктических территориях различных типов малой генерации [6], оцениваются перспективы развития прибрежной Арктики на основе малой атомной энергетики [7]. Кроме того, проводятся детальные исследования по разработке научных инженерных основ создания подземных комплексов для размещения атомных станций малой мощности в скальных массивах российской Арктики в качестве автономных источников энергии, которые в определенных условиях могут быть конкурентоспособными по сравнению с традиционными энергоисточниками [8].

Однако в настоящее время и, вероятно, в ближайшей перспективе производство энергии в арктических районах Дальнего Востока будет связано с традиционными энергоисточниками на органическом топливе. В этой связи экологическая оценка позволит предварительно, при выборе рациональной схемы энергоснабжения, определить наиболее эко-

логически безопасный для природной среды вариант при прочих равных условиях.

В качестве потенциального вида топлива для котельных арктических территорий Дальнего Востока следует рассматривать сжиженный природный газ (СПГ) в связи с планами ПАО «НОВАТЭК» по строительству терминала по перегрузке СПГ близ Петропавловска-Камчатского и заключением на V Восточном экономическом форуме соглашения о взаимодействии компании с Правительством ЧАО. Соглашение предусматривает использование сжиженного природного газа ПАО «НОВАТЭК» по трем направлениям: генерации электроэнергии для промышленных предприятий региона, создания газового терминала и бункеровочной станции в Певеке, а также использования СПГ в качестве топлива для автомобильного транспорта¹.

На восточном побережье ЧАО потенциальным топливом как для котельных, так и электростанций может выступать беринговский уголь. В настоящее время австралийская угольная компания «Tigers Realm Coal Limited» в территории опережающего развития «Чукотка» реализует проект по добыче угля в Амаамском угольном бассейне мощностями дочерней компании ООО «Берингпромуголь». Инвестор совместно с региональным правительством обсуждают вопросы модернизации и увеличения объемов добычи угля, создания генерирующих мощностей на территории освоения месторождений Беринговского каменноугольного бассейна².

При выборе топлива для энергоснабжения предприятий при реализации в арктических районах Дальнего Востока перспективных проектов по разработке месторождений редкоземельных металлов, добыче нефти, природного газа и угля, а также алмазов и золота следует ориентироваться на весь перечень возможных видов топлива.

Для экологических оценок качественные характеристики углей приняты в соответствии с данными угольной базы России по Анадырскому, Беринговскому, Зырянскому и Джебарики-Хайскому угольным бассейнам [9; 10].

Качественные характеристики дизельного топлива приняты для марок: зимнее и арктическое в соответствии с ГОСТ 305-82, где указано содержание серы, равное 0,2%, а теплотворная способность составляет 40—43 МДж/кг. В настоящее время дизельное топливо также используется в котельных с водогрейными котлами как для нужд отопления — малые энергоустановки (6—230 кВт), так и для про-

¹ Правительство Чукотки заключило на ВЭФ соглашение о взаимодействии с крупнейшим производителем природного газа в России. — URL: http://gosnovosti.com/2019/09/правительство-чукотки-заключило-на-в/?fbclid=IwAR2NYTO-KIEfpz1rbqtoVcvJ8V7VDGrAKlrJ_gxnjiDk4S0Hl97ULTijic.

² Австралийская компания развивает проект на Чукотке. — URL: <https://minvr.ru/press-center/news/23373/>.

Таблица 1. Основные качественные характеристики используемых топлив

Вид топлива	Зольность на рабочую массу, %	Содержание серы на рабочую массу, %	Теплотворная способность, кДж/кг	Тип, марка
Уголь:				
анадырский	12,0	0,3	17 005	БЗР
беринговский	12,1	0,8	22 576	Г, Ж
зырянский	18,0	0,4	24 886	Г, Ж
джебарики-хайский	12,0	0,3	23 565	Д
Нефть	0,01	0,46	42 160	Иреляхское месторождение
Природный газ	—	—	34 050	Средне-Ботубинское НГКМ
Дизельное топливо	0,01	0,2	42 600	Арктическое вида I

мышленности — высокомощные теплогенераторы блочно-модульных котельных для выработки пара и тепла.

Качественные характеристики сырой нефти приняты для Иреляхского месторождения Республики Саха (Якутия), природного газа — в среднем для Среднеботубинского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ).

Основные качественные характеристики топлив, используемых на энергообъектах арктических районов Дальнего Востока России, представлены в табл. 1.

Зольность углей за исключением зырянского практически у всех одинакова — все угли относятся к среднезольным. По содержанию серы значительно выделяется уголь Беринговского месторождения, однако все используемые угли относятся к низкосернистым с содержанием серы до 1,5% [10]. Каменные угли (беринговский, зырянский, джебарики-хайский) имеют высокую теплотворную способность с выходом летучих 35—37%, что характеризует топливо как спекающееся и пригодное и для слоевого, и для камерного сжигания. Топливо с высоким выходом летучих веществ (более 40%), к которому относится бурый уголь Анадырского месторождения, при сжигании образует механически непрочный рассыпающийся кокс, что затрудняет слоевое сжигание.

В целом по качественным характеристикам топлив экологически и энергетически привлекательными являются дизельное топливо, нефть и природный газ.

Экологическая оценка использования разных видов топлива для производства энергии

При функционировании объектов энергетики на органическом топливе наибольшее влияние на природную среду оказывают выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Поэтому за основу экологи-

ческой оценки при производстве электрической и тепловой энергии с использованием различных видов топлива приняты расчеты количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, которое зависит от типа и качества используемого топлива, его количества, работы генерирующего и очистного оборудования. Результаты расчетов приводятся в удельных величинах в килограммах на тонну условного топлива, сожженного при заданных качественных характеристиках топлив и параметров оборудования.

Электростанции. Для тепловых электростанций, работающих на угле и природном газе, расчет выбросов проведен на основе «Методики определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС» [11] и рекомендаций [12].

При этом расчеты выполнены для двух вариантов: очистка уходящих газов отсутствует и имеется золоулавливающее оборудование. Как правило, крупные угольные электростанции оборудованы золоулавливающими устройствами. В качестве примера рассмотрим вариант с золоулавливающими установками сухого типа и средней степенью очистки 85%. В случае применения на электростанциях мокрого способа золоулавливания (например трубы Вентури) в расчет выбросов оксидов серы необходимо ввести понижающий коэффициент 0,8.

Ингредиентный состав выбросов представлен для трех основных по количественному объему (97—98% суммарных выбросов электростанций) загрязняющих веществ: твердых частиц, оксидов серы и азота (табл. 2).

Необходимо отметить, что при сжигании органического топлива на крупных энергопредприятиях кроме указанных выше трех ингредиентов в атмосферу поступают и другие примеси (водяной пар, углерод, оксид углерода, бенз(а)пирен и прочие летучие органические соединения,

Таблица 2. Удельные расчетные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от тепловых электростанций, кг/т у. т.

Вид топлива	Твердые частицы		Оксиды серы	Оксиды азота	Всего	
	без очистки	с очисткой 85%			без очистки	с очисткой 85%
Уголь:						
зырянский	213	32,0	8,5	5,0	226,5	45,5
джебарики-хайский	153	23,0	6,7	7,0	166,7	36,7
анадырский	201	30,2	9,3	4,0	214,3	43,5
беринговский	160	24,0	18,7	5,0	183,7	47,7
Природный газ	—	—	—	2,0	2,0	2,0

Таблица 3. Удельные расчетные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от дизельных электростанций, кг/т у. т.

Дизель-генератор	С	СО	SO ₂	NO _x	БП	СН	СН ₂ О	Всего
Группа А	2,6	24,8	3,2	28,3	4,8·10 ⁻⁵	13,0	0,5	72,3
Группа В	1,3	17,9	4,2	22,8	3,9·10 ⁻⁵	8,6	0,3	55,1

а также ряд тяжелых металлов в зависимости от месторождения топлива), которые в валовом выбросе не превышают 2—3%. В оценке выбросов не представлены и расчеты эмиссии углекислого газа СО₂, которые на порядок превышают объемы выбросов всех загрязняющих веществ и делают расчеты несопоставимыми.

Расчеты показывают, что наибольший суммарный выброс имеет место от угольных электростанций, которые не оборудованы системами золоулавливания, и колеблется от 166 до 226 кг на 1 т сожженного условного топлива.

Наименьшее количество вредных примесей поступает при использовании на электростанциях природного газа (порядка 2 кг/т у. т.), и это в 18—24 раза меньше, чем при использовании угля, даже с учетом очистки (см. табл. 2).

Естественно, установка золоулавливающего оборудования существенно снижает выброс твердых частиц (летучей золы, сажи). Суммарный выброс от ТЭС с использованием золоочистки снижается в 4—5 раз в сравнении с вариантом без очистки.

При сжигании дизельного топлива в стационарных дизельных электростанциях расчет выбросов в атмосферу проводится на основе утвержденной в 2001 г. методики, приведенной в [13], в соответствии с которой ингредиентный состав определяется для семи загрязняющих веществ: оксидов азота NO_x, диоксида серы SO₂, сажи С, оксида углерода СО, углеводородов СН, формальдегида СН₂О и бенз(а)пирена (БП).

Оценка валовых выбросов в атмосферу от стационарных дизельных установок зависит от мощности и различается для двух групп установок, прошедших капитальный ремонт:

- группа А — маломощные, быстроходные дизель-генераторы или дизель-электрический агрегат;
- группа В — мощные, средней быстроходности (буровой агрегат, дизель-генератор ДГ-400).

Для мощных дизель-генераторов после капитального ремонта (группа В) суммарный выброс вредных веществ при сжигании 1 т у. т. в 1,3 раза ниже, чем для маломощных (группа А) (табл. 3).

В настоящее время довольно часто обсуждаются вопросы перевода на арктических территориях дизельных электростанций на непроектное топливо (нефть, мазут, природный газ). Однако для расчетов прежде всего необходимы данные об инструментальных замерах выбросов, которые должны выполняться на характерных режимах для условий реальной эксплуатации (в условиях Арктики) дизельной установки в течение года. Замеренная таким образом концентрация загрязняющих веществ предоставляется производителем оборудования и используется в дальнейшем для расчета максимальных и валовых выбросов в год.

Оценка количества выбросов проводится на основе данных технической документации на оборудование, в противном случае расчет осуществляется по нормативным документам [14]. К ним относится ГОСТ Р 51249-99 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ», где указа-

Таблица 4. Удельные средневзвешенные выбросы вредных веществ для вновь изготовленных двигателей, г/кВт·ч

Двигатели внутреннего сгорания	Норма удельных выбросов		
	NO _x	CO	CH
Выпуск до 2000 г., постановка на производство с 2000 г.	16,0	6,0	2,4
Выпуск с 2000 г., постановка на производство до 2000 г.	10,0	3,0	1,0

ны предельно допустимые значения удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ, в том числе и для промышленных двигателей внутреннего сгорания.

В соответствии с ГОСТ Р 51249-99 нормируются выбросы оксидов азота (в приведении к NO₂), оксиды углерода и углеводороды. В табл. 4 приведены нормы выбросов для промышленных двигателей с выпуском и производством с 2000 г. и до 2000 г. Согласно ГОСТ Р 51249-99 эксплуатация двигателей, на которых превышает удельный средневзвешенный выброс, запрещена.

Перспективными для арктических территорий становятся газодизельные и газопоршневые установки. Выбросы при сжигании природного газа в таких установках рассчитываются в соответствии с рекомендациями по нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [15]. В настоящее время нет достаточной информации для разработки удельных технологических показателей выбросов от дизельных установок, работающих на природном газе.

При переводе на газодизельный процесс в методике [15] при расчете выбросов заложены исходные посылки по уменьшению выбросов, приведенные на рис. 1.

Для более строгого учета выбросов загрязняющих веществ от газодизельных установок целесообразно руководствоваться сертификатами с экологиче-

скими показателями фирм-изготовителей. При этом необходимо предусмотреть инструментальную проверку соблюдения нормативов выбросов для таких установок.

Котельные. Количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных рассчитывалось с использованием утвержденной в 1999 г. методики определения выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах с производительностью пара менее 30 т/ч, или менее 20 Гкал/ч [16—17]. Данная методика позволяет рассчитывать выбросы при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива для водогрейных котлов для семи ингредиентов: сажи (черный углерод), оксида азота NO, диоксида азота NO₂, диоксида серы SO₂, твердых частиц, оксида углерода CO и бенз(а)пирена. Расчетные данные приведены в табл. 5 для случая, когда очистка дымовых газов отсутствует.

Удельный выброс от котельных на угле на порядок превосходит аналогичные показатели от котельных на жидком и газообразном топливе. Объем выбросов, который образуется при использовании в котельных твердого топлива, варьируется от 170 до 236 кг/т у. т. Наименьшие показатели соответствуют андырскому углю, наибольшие — зырянскому.

Выбросы от котельных, сжигающих газообразное и жидкое топливо, сопоставимы: при сжигании природного газа удельные значения не превышают 1 кг/т у. т., нефти — оценивается в пределах 15 кг/т у. т., а дизельного топлива — до 10 кг/т у. т. Однако при использовании угля выбросы в 17—235 раз выше, чем при сжигании жидких видов топлива.

Обсуждение результатов

Проведенная экологическая оценка использования разных видов топлива для производства энергии на территории арктических районов Дальнего Востока России носит предварительный характер и представляет лишь часть воздействия объектов энергетики на атмосферу. Однако уже такая оценка позволяет сделать некоторые рекомендации: так, наименьший расчетный

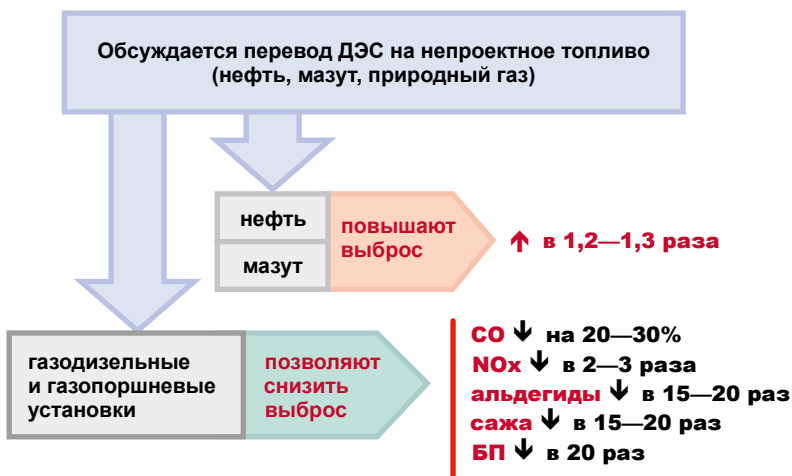


Рис. 1. Перевод ДЭС на использование газа
 Fig. 1. Switching diesel power plants to gas use

Таблица 5. Удельные расчетные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от котельных, кг/т у. т.

Вид топлива	C	CO	SO ₂	NO ₂	NO	БП	V ₂ O ₅ **	Всего***
Дизельное топливо	0,7	3,0	2,8	2,7	0,4	4,1·10 ⁻⁶	—	9,6
Нефть	0,9	3,9	6,3	2,7	0,4	4,1·10 ⁻⁶	0,01	14,2
Природный газ	—	0,003	—	0,7	0,08	0,9·10 ⁻⁶	—	0,8
Уголь*:				NO _x				
зырянский	187	39,6	8,5	0,4		Расчет не проводился	—	235,5
джебарики-хайский	155	39,4	6,7	0,4			—	201,5
анадырский	119	40,1	9,3	0,6			—	169,0
беринговский	159	39,5	18,7	0,5			—	217,7

* В расчетах для углей даны твердые частицы в целом, без выделения сажи.

** Пентаксид ванадия — зола мазутная в пересчете на ванадий.

*** Суммы даны с округлением.



Рис. 2. Экологическая оценка использования различных углей в энергетике арктических районов Дальнего Востока России
Fig.2. Environmental assessment of different coals' use in the energy sector of the Russian Arctic Far East

выброс от котельных происходит при сжигании анадырского угля, а на ТЭС — джебaрики-хайского (рис. 2).

Полученные результаты позволяют учитывать антропогенный фактор при выборе схем энергоснабжения проектов освоения арктических территорий на востоке России. Так, наибольший расчетный выброс соответствует зырянскому углю при сжигании его как в котельных, так и на крупных электростанциях. Наиболее экологически привлекательным яв-

ляется уголь Джебaрики-Хайского месторождения. В случае анадырского бурого угля, у которого наименьшее значение удельного выброса, его применение в котельных со слоевым сжиганием не рекомендуется, как было показано выше, ввиду высоких значений влажности и выхода летучих.

Особую важность при оценке выбросов в атмосферу имеют эмиссия в природную среду микроэлементов — тяжелых металлов 1-го класса опасности (например Hg, Ni, Zn, Cu, Mn, V и др.) и поток

естественных радионуклидов. Эти вещества при содержании даже в микроскопических количествах в исходном топливе и прежде всего в углях при их сжигании и термической трансформации способны накапливаться в элементах природной среды [18; 19]. Проблемы комплексной оценки уровня экологической опасности органических топлив обсуждаются давно [20; 21], и получение его количественного значения может позволить более обоснованно выбирать для использования то или иное топливо. Существующие оценки потенциала экологической опасности топлив по степени убывания ранжируются от углей различных месторождений (наибольшая опасность) до природного газа (наименьший уровень опасности) [22].

В глобальном масштабе для арктических территорий также важен учет поступления парниковых газов и в частности диоксида углерода, выделяющегося при сжигании органического топлива в энергоустановках. Известно, что суммарный выброс загрязняющих веществ (с учетом CO_2) увеличится на порядок: так, при сжигании 1 т природного газа выброс CO_2 составит 1,85 т, угля — 2,7—2,8 т, мазута — 3,1 т, дизельного топлива — 3,15 т [23; 24].

В дальнейшем необходимо рассматривать всю цепочку энергетического производства от добычи топливно-энергетических ресурсов на территории Арктики до преобразования и передачи электрической и тепловой энергии конечному потребителю. И соответственно рассматривать влияние энергетики на все элементы природной среды: атмосферу, водные объекты, почвы.

Заключение

В качестве основы экологической оценки использования различных видов топлива в арктических регионах Дальнего Востока приняты расчеты количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Расчеты проведены в килограммах на тонну условного топлива, сжигаемого в котельных и на электростанциях.

Для электростанций расчет проведен по трем основным ингредиентам (являющимся репрезентативными загрязняющими веществами, выброс которых в ингредиентной структуре крупных электростанций составляет 97—98% [25]). Наибольший суммарный расчетный выброс имеет место от угольных электростанций, которые не оборудованы системами золоулавливания, — от 166 до 226 кг/т у. т. При установке золоулавливающего оборудования выброс можно снизить в 4—5 раз. Наименьшее количество вредных примесей поступает при использовании природного газа — около 2 кг/т у. т, что в 18—24 раза меньше, чем при использовании угля, даже с учетом очистки уходящих газов.

Диапазон суммарных выбросов для дизельных стационарных электростанций составляет 55—72 кг/т у. т. в зависимости от типа и мощности оборудования ДЭС.

Для котельных и ДЭС результаты приведены по семи загрязняющим веществам, при этом по объемам эмиссии бенз(а)пирена, формальдегида и пентаоксида ванадия в структуре выбросов не превышает 0,1—0,6%, однако методики [13; 16] позволяют достаточно просто учитывать эти ингредиенты, поэтому они представлены отдельно. Суммарный выброс от котельных при использовании жидких и газообразных топлив характеризуется наименьшими значениями.

Конечно, очень важно учитывать ингредиентную структуру выбросов, что позволит в дальнейшем получить более полную экологическую оценку. В данной работе оценки поступления в атмосферу тяжелых металлов, естественных радионуклидов и парниковых газов при сжигании органических топлив не проводились, поскольку требуют отдельных дополнительных исследований.

Среди углей, используемых в арктических районах Дальнего Востока, с экологических позиций наихудшим является зырянский уголь, при сжигании 1 т у. т. которого в атмосферу поступает 235,5 кг загрязняющих веществ, что связано с его сравнительно высокой зольностью. Аналогичная ситуация наблюдается и при сжигании зырянского угля на ТЭС с наибольшим выбросом среди рассматриваемых углей в 226,5 кг/т у. т.

Следует отметить, что при сжигании анадырского бурого угля в котельных (при прочих равных условиях) образуется наименьшее количество загрязняющих веществ — 169 кг/т у. т. Однако при сжигании этого угля на крупных ТЭС выброс сопоставим с эмиссией от использования зырянского угля (214,3 кг/т у. т.), что можно объяснить условиями сжигания, которые характеризуются для бурых углей меньшими потерями механического недожога, а в котельных — и меньшим количеством частиц в уносе.

Таким образом, экологическая оценка показала, что наименее опасными топливами для окружающей среды являются природный газ и жидкие виды топлива, при использовании которых эмиссия загрязняющих веществ в 11—235 раз ниже, чем при сжигании углей. Среди углей как для крупных электростанций, так и для котельных наименее опасен джебарик-хайский. Снижения количества выбросов на дизельных электростанциях возможно достичь, используя газодизельный или газопоршневой процесс.

Исследования выполнены в рамках государственного задания выполнения базового проекта Сибирского отделения РАН: XI.174.2.3 «Комплексная оценка схем энергоснабжения при освоении месторождений минерально-сырьевых ресурсов в восточном арктическом секторе Российской Федерации» (регистрационный № АААА-А17-117030310439-8).

Литература

1. Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации». — Утв. постановлением Правительства РФ от 31 августа 2017 г. № 1064.1. — URL: <http://static.government.ru/media/files/GGu3GTtv8bvV8gZx-SEAS1R7XmzloK6ar.pdf>.
2. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. — Утв. Президентом РФ 18 сентября 2008 г. — URL: <https://rg.ru/2009/03/30/arktika-osnovy-dok.html>.
3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. — Утв. Президентом РФ 20 февраля 2013 г. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/499002465>.
4. Волков А. В., Галямов А. Л., Сидоров А. А. Проблемы освоения минеральных ресурсов Арктики (на примере Чукотки и Аляски) // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 4 (32). — С. 4—14. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-4-14.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». — М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. — 888 с.
6. Смоленцев Д. О. Развитие энергетики Арктики: проблемы и возможности малой генерации // Арктика: экология и экономика. — 2012. — № 3 (7). — С. 22—29.
7. Митенков Ф. М. К вопросу об актуальности малой атомной энергетики для перспективного развития прибрежной Арктики и Дальневосточного региона // Арктика: экология и экономика. — 2011. — № 4. — С. 58—63.
8. Мельников Н. Н., Гусак С. А., Амосов П. В. и др. Исследования по обоснованию методологии создания подземных комплексов для размещения атомных станций малой мощности в условиях Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 3 (31). — С. 123—136. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-123-136.
9. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации (на 1 января 2006 года). — Вып. 91: Уголь. — Т. 8: Дальневосточный федеральный округ. — М.: Федер. агентство по недропользованию, 2006. — 320 с.
10. Угольная база России. — Т. 5. — Кн. 2: Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. — 638 с.
11. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. РД 34.02.305-98 / ВТИ. — М., 1998.
12. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. — Л.: Госкомгидромет, 1986. — 142 с.
13. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок / М-во природ. ресурсов Рос. Фед. Науч.-исслед. ин-т охраны атмосфер. воздуха (НИИ Атмосфера); Фирма «Интеграл». — СПб., 2001. — 15 с.
14. ГОСТ Р 51249-99. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. — М.: Изд-во стандартов, 1999.
15. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. — СПб., 2005.
16. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. — М.: Гос. комитет по охране окружающей среды Рос. Фед. (при участии фирмы «Интеграл», Санкт-Петербург), 1999. — 53 с.
17. Методическое письмо НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17 мая 2000 г. «О проведении расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу по “Методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час”» (М., 1999). — СПб.: НИИ Атмосфера, 2000. — 20 с.
18. Бондарев Л. Г. Ландшафты, металлы и человек. — М.: Мысль, 1976. — 73 с.
19. Киселев А. В., Худoley В. В. Отравленные города. — М.: Greenpeace, 1995. — 20 с.
20. Кошелев А. А., Ташкинова Г. В., Чебаненко Б. Б. и др. Экологические проблемы энергетики. — Новосибирск: Наука, 1989 — 322 с.
21. Чебаненко Б. Б., Майсюк Е. П. Байкальский регион: пределы устойчивости. — Новосибирск: Наука, 2002. — 160 с.
22. Чебаненко Б. Б., Майсюк Е. П. Оценка экологической опасности при использовании органических топлив // Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию: Труды международной научно-практической конференции. — Т. 1. — Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. — С. 219—227.
23. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990—2010 гг. / Рос. Фед. — М., 2012.
24. Методические указания и руководство по количественному определению объемов выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации. — Утв. приказом Минприроды России от 30 июня 2015 г. — URL: <http://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovykh-gazov>.
25. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии: Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС 38-2017) / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии; Бюро НДТ. — М., 2017. — 280 с.

Информация об авторах

Майсюк Елена Петровна, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, лаборатория энергоснабжения децентрализованных потребителей, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130), e-mail: mausyuk@isem.irk.ru.

Иванова Ирина Юрьевна, кандидат экономических наук, заведующая, лаборатория энергоснабжения децентрализованных потребителей, ведущий научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130), e-mail: nord@isem.irk.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Майсюк Е. П., Иванова И. Ю. Экологическая оценка использования разных видов топлива для производства энергии в арктических районах Дальнего Востока // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 1 (37). — С. 26—36. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-26-36.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF DIFFERENT FUEL TYPES FOR ENERGY PRODUCTION IN THE ARCTIC REGIONS OF THE RUSSIAN FAR EAST

Mausyuk E. P., Ivanova I. Yu.

Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

The article was received on October 2, 2019

Abstract

The Government of the Russian Federation pays great attention to the development of the country's Arctic territories. Among the priority projects are the development of rare earths, crude oil, natural gas and coal production, as well as diamonds and gold. A significant part of the projects is related to the development of the Arctic territories of the Far East: the Republic of Sakha (Yakutia) and the Chukotka Autonomous Region.

The development of natural resources of the Arctic zone of the Russian eastern regions will require intensification of the production and social infrastructure, primarily the energy sector. As a rule, the deposits of the eastern Arctic are located in the zone of local energy supply and seasonal transport accessibility. In this regard, the development of rational energy supply schemes in each case will be required. When choosing the energy supply option, environmental assessments are important, reflecting regional territory characteristics, the volume of emissions/discharges and the amount of waste resulting from the production of electric or thermal energy.

At the initial stage of environmental studies, it is proposed to estimate the amount of atmospheric emissions generated when using different fuels for various energy sources: thermal power plants, low-power boiler-houses, diesel power plants. Currently, the following types of fuel are used in the Arctic territories of the Far East: coal from the Beringovsky, Zyryansky, Anadyrsky, Dzhebariki-Khaisky deposits, crude oil, natural gas and diesel fuel. Additionally options for switching autonomous power plants to burning gas and crude oil are considered. The calculated values are given in kg per tonne of equivalent fuel burned in boiler-houses and power plants.

The analysis of the results shows that when coal is burned, environmental indicators are 10–20 times higher than those for liquid and gaseous fuels.

Among the coals used in the territory of the eastern Arctic sector, from the ecological point of view, Zyryansky coal is the worst, due to a relatively high ash content of the fuel.

It should be noted that during the burning of the Anadyrsky brown coal in boiler-houses (*ceteris paribus*) the smallest amount of pollutants is formed. However, when burning the coal at large thermal power plants, the emission is comparable to emissions when using the Zyryansky coal due to the combustion conditions of this coal, characterized by lower losses of mechanical under-burning for brown coal, and in boiler-houses — due to a smaller number of particles in fly ash.

Thus, an environmental assessment shows that the least harmful to the environment is the burning of natural gas and liquid fuels. Among coals, the most environmentally friendly is Dzhebariki-Khaisky coal. Reducing the amount of emissions from diesel electric plants (DEP) can be achieved by using a gas-diesel or gas-piston pro-

cess. When switching stand-alone (local) power plants from diesel fuel to crude oil, the amount of air emissions increases by 1.2—1.3 times. While switching to gas-diesel or gas-piston power plants, the emission of some pollutants can be reduced by 15—20 times.

Keywords. *Arctic zone, specific air emissions, boiler-houses, thermal power plant, diesel power plant, environment.*

The studies were performed as part of the state assignment for the implementation of the basic project of the RAS SB: XI.174.2.3. "Comprehensive assessment of energy supply schemes for the development of mineral deposits in the eastern Arctic sector of the Russian Federation" (reg. No. AAAA-A17-117030310439-8).

References

1. Gosudarstvennaya programma Rossiiskoi Federatsii "Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiye Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii". Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 31 avgusta 2017 g. no. 1064.1. [State program of the Russian Federation "Socio-economic development of the Arctic zone of the Russian Federation"]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/GGu3GTv8bvV8gZx-SEAS1R7XmzloK6ar.pdf>. (In Russian).
2. Osnovy gosudarstvennoi politiki Rossiiskoi Federatsii v Arktike na period do 2020 goda i dal'neishuyu perspektivu. Utv. Prezidentom RF ot 18 sentyabrya 2008 g. [The fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2020 and beyond]. Available at: <https://rg.ru/2009/03/30/arktika-osnovy-dok.html>. (In Russian).
3. Strategiya razvitiya Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii i obespecheniya natsional'noi bezopasnosti na period do 2020 goda. Utv. Prezidentom RF 20 fevralya 2013 g. [Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2020]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499002465>. (In Russian).
4. Volkov A. V., Galyamov A. L., Sidorov A. A. Problemy osvoeniya mineral'nykh resursov Arktiki (na primere Chukotki i Alyaski). [Problems of the Arctic mineral resources development (in terms of Chukotka and Alaska)]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2018, no. 4 (32), pp. 4—14. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-4-14. (In Russian).
5. Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu". [State report "The state and environmental protection of the Russian Federation in 2017"]. Moscow, Minprirody Rossii; NPP "Kadastr", 2018, 888 p. (In Russian).
6. Smolentsev D. O. Razvitiye energetiki Arktiki: problemy i vozmozhnosti maloi generatsii. [Energy development in the Arctic: problems and opportunities of small generation]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2012, no. 3 (7), pp. 22—29. (In Russian).
7. Mitenkov F. M. K voprosu ob aktual'nosti maloi atomnoi energetiki dlya perspektivnogo razvitiya pribrezhnoi Arktiki i Dal'nevostochnogo regiona. [To the question of the relevance of small nuclear energy for the future development of the coastal Arctic of the Far Eastern region]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2011, no. 4, pp. 58—63. (In Russian).
8. Mel'nikov N. N., Gusak S. A., Amosov P. V. et al. Issledovaniya po obosnovaniyu metodologii sozdaniya podzemnykh kompleksov dlya razmeshcheniya atomnykh stantsii maloi moshchnosti v usloviyakh Arktiki. [Studies on the justification of the methodology for the creation of underground complexes for the placement of small nuclear power plants in the Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2018, no. 3 (31), pp. 123—136. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-123-136. (In Russian).
9. Gosudarstvennyi balans zapasov poleznykh iskopayemykh Rossiiskoi Federatsii (na 1 yanvarya 2006 goda). Iss. 91. Ugol'. Vol. 8. Dal'nevostochnyi federal'nyi okrug. [The State Balance of Mineral Reserves of the Russian Federation (as of January 1, 2006). Iss. 91. Coal. Vol. 8. Far Eastern Federal District]. Moscow, Feder. agentstvo po nedropol'zovaniyu, 2006, 320 s. (In Russian).
10. Ugol'naya baza Rossii. Vol. 5. Bk. 2. Ugol'nye basseiny i mestorozhdeniya Dal'nego Vostoka (Respublika Sakha, Severo-Vostok, o. Sakhalin, p-ov Kamchatka). [Coal base of Russia. Volume V. Book 2. Coal basins and deposits of the Far East of Russia (Republic of Sakha, Northeast, Sakhalin Island, Kamchatka Peninsula)]. Moscow, ZAO "Geoinformmark", 1999, 638 p. (In Russian).
11. Metodika opredeleniya valovykh vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu ot kotel'nykh ustanovok TES. RD 34.02.305-98. VTI. [The method of determining the gross emissions of pollutants into the atmosphere from boiler plants TPP. RD 34.02.305-98. VTI]. Moscow, 1998. (In Russian).
12. Sbornik metodik po raschetu vybrosov v atmosferu zagryaznyayushchikh veshchestv razlichnymi proizvodstvami. [Collection of methods for calculating emissions into the atmosphere of pollutants by various industries]. Leningrad, Goskomgidromet, 1986, 142 p. (In Russian).
13. Metodika rascheta vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu ot statsionarnykh dizel'nykh ustanovok. [The method of calculating emissions of pollutants into the atmosphere from stationary diesel installations]. M-vo prirod. resursov Ros. Fed. Nauch.-issled. in-t okhrany atmosfernogo vozdukha (NII Atmosfera); Firma "Integral". St. Petersburg, 2001, 15 p., 15 p. (In Russian).
14. GOST R 51249-99. Dizeli sudovye, teplovoznnye i promyshlennye. Vybrosty vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami. Normy i metody opredeleniya. [GOST R 51249-99. Ship, diesel and industrial diesel engines.

Emissions of harmful substances with exhaust gases. Rules and methods of determination]. Moscow, Izd-vo standartov, 1999. (In Russian).

15. Metodicheskoe posobie po raschetu, normirovaniyu i kontrolyu vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferyni vozdukh. [Methodological manual for calculating, rationing and controlling emissions of pollutants into the air]. St. Petersburg, 2005. (In Russian).

16. Metodika opredeleniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu pri szhiganiy topliva v kotlakh proizvoditel'nost'yu menee 30 tonn para v chas ili menee 20 Gkal v chas. [The method of determining emissions of pollutants into the atmosphere when burning fuel in boilers with a capacity of less than 30 tons of steam per hour or less than 20 Gcal per hour]. Moscow, Gos. komitet po okhrane okruzhayushchei sredy Ros. Fed. (pri uchastii firmy "Integral", Sankt-Peterburg), 1999, 53 p. (In Russian).

17. Metodicheskoe pis'mo NII Atmosfera № 335/33-07 ot 17 maya 2000 g. "O provedenii raschetov vybrosov vrednykh veshchestv v atmosferu po "Metodike opredeleniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu pri szhiganiy topliva v kotlakh proizvoditel'nost'yu menee 30 tonn para v chas ili menee 20 Gkal v chas" (Moscow, 1999). [Methodological letter of the Scientific Research Institute Atmosphere No.335 / 33-07 dated May 17, 2000 "On the calculation of emissions of harmful substances into the atmosphere according to" Methodology for determining emissions of pollutants into the atmosphere when fuel is burned in boilers with a capacity of less than 30 tons of steam per hour or less 20 Gcal per hour" (Moscow, 1999)]. St. Petersburg, NII Atmosfera, 2000, 20 p. (In Russian).

18. Bondarev L. G. Landshafty, metally i chelovek. [Landscapes, metals and man]. Moscow, Mysl', 1976, 73 p. (In Russian).

19. Kiselev A. V., Khudolei V. V. Otravlennye goroda. [Poisoned cities]. Moscow, Greenpeace, 1995, 20 p. (In Russian).

20. Koshelev A. A., Tashkinova G. V., Chebanenko B. B. et al. Ekologicheskie problemy energetiki. [Environmental

problems of energy sector]. Novosibirsk, Nauka, 1989, 322 p. (In Russian).

21. Chebanenko B. B., Maysyuk E. P. Baikalskii region: predely ustoichivosti. [Baikal region: limits of stability]. Novosibirsk, Nauka, 2002, 160 p. (In Russian).

22. Chebanenko B. B., Maysyuk E. P. Otsenka ekologicheskoi opasnosti pri ispol'zovanii organicheskikh topliv. [Assessment of environmental hazards when using organic fuels]. Ekologicheskie problemy ugledobyvayushchei otrasli v regione pri perekhode k ustoichivomu razvitiyu: Trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Vol. 1. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 1999, pp. 219—227. (In Russian).

23. Natsional'nyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtzii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom, za 1990—2010 gg. Ros. Fed. [National report of the Russian Federation on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990—2010. Russian Federation]. Moscow, 2012. (In Russian).

24. Metodicheskie ukazaniya i rukovodstvo po kolichestvennomu opredeleniyu ob'emov vybrosov parnikovyykh gazov organizatsiyami, osushchestvlyayushchimi khozyaistvennyuyu i inuyu deyatel'nost' v Rossiiskoi Federatsii. Utv. prikazom Minprirody Rossii ot 30 iyunya 2015 g. [Methodical instructions and guidelines for the quantitative determination of greenhouse gas emissions by organizations engaged in economic and other activities in the Russian Federation. Approved by the order of the Ministry of natural resources of Russia dated by June 30, 2015]. Available at: <http://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyykh-gazov>. (In Russian).

25. Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tselnykh proizvodstva energii: Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam (ITS 38-2017). [Combustion of fuel in large installations for energy production. Information technology Handbook on best available technologies]. Feder. agentstvo po tekhn. regulirovaniyu i metrologii; Byuro NDT. Moscow, 2017, 280 p. (In Russian).

Information about the authors

Maysyuk Elena Petrovna, PhD of Economy, Senior Researcher, Laboratory of Energy Supply to Off-grid Consumers, Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the RAS, (130, Lermontov str., Irkutsk, Russia, 664033), e-mail: maysyuk@isem.irk.ru.

Ivanova Irina Yurievna, PhD of Economy, Head, Laboratory of Energy Supply to Off-grid Consumers, Leading Researcher, Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the RAS (130, Lermontov str., Irkutsk, Russia, 664033), e-mail: nord@isem.irk.ru.

Bibliographic description of the article

Maysyuk E. P., Ivanova I. Yu. Environmental assessment of different fuel types for energy production in the Arctic regions of the Russian Far East. The Arctic: Ecology and Economy, 2020, no. 1 (37), pp. 26—36. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-26-36. (In Russian).

© Maysyuk E. P., Ivanova I. Yu., 2020