

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОТ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОЕКТОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Б. Г. Санеев, Е. П. Майсюк, И. Ю. Иванова

Институт систем энергетики имени Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН  
(Иркутск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 17 мая 2021 г.

*К одной из основных характеристик хозяйственной деятельности относится экологическое состояние территории. Особенно это важно для Арктики, которая является стратегической зоной Российской Федерации и экологически высокоуязвима. В исследовании выполнены расчеты выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и парниковых газов с учетом роста топливопотребления на обеспечение энергией перспективных проектов освоения месторождений арктических территорий востока России. Проведена сравнительная экологическая оценка показателей выброса от новых производств относительно текущего уровня. Ожидается рост выбросов в атмосферу на 60–80%.*

**Ключевые слова:** Арктическая зона, выброс загрязняющих веществ, парниковые газы, энергетические объекты, перспективные проекты, месторождения минерально-сырьевых ресурсов, экологические проблемы.

### Введение

К арктическим территориям восточных регионов отнесены арктические зоны трех субъектов Федерации: Красноярского края (Таймыро-Туруханская зона), Республики Саха (Якутия) (Северо-Якутская зона) и Чукотского автономного округа (Чукотская зона).

Существующую экологическую обстановку в арктических территориях восточных регионов России можно охарактеризовать как неблагоприятную, особенно это касается Таймыро-Туруханской зоны в части количества выбросов от Норильского промышленного узла. В целом основное антропогенное воздействие на окружающую среду арктической

территории востока России оказывают добывающие предприятия, энергетическое производство, а также ветхое состояние жилищно-коммунального хозяйства. В современной статистике данные о суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу от объектов энергетики трех рассматриваемых арктических территорий не приводятся, в этой связи проведен соответствующий расчет [1]. Суммарные выбросы по состоянию на 2018 г. авторы оценивают в 103,4 тыс. т, из которых 65% приходится на котельные, 23% — на крупные энергообъекты (тепловые электростанции — ТЭС) и 12% — на дизельные электростанции (ДЭС) [1]. Расчетные выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания топлива на энергообъектах составили практически 7 млн т с наибольшим выбросом (77%) от ТЭС и наименьшим (7,6%) от ДЭС [1]. Основным

источником эмиссии диоксида углерода являются газовые станции Таймыро-Туруханской арктической зоны.

Наметившаяся тенденция по широкомасштабному развитию добывающих предприятий в арктической зоне восточных регионов России будет способствовать образованию все большего количества выбросов и отходов. К перспективным проектам освоения арктических территорий восточных регионов России относится порядка 18 месторождений, среди них наиболее крупными и потенциально возможными для реализации являются:

- в Таймыро-Туруханской зоне: нефтегазовые месторождения Сузунское, Тагульское и Лодочное, месторождение коксующихся углей Река Малая Лемберова;
- в Северо-Якутской зоне: месторождения россыпного олова Ручей Тирехтях, Кючус, редкоземельных металлов Томтор и алмазов Верхняя Муна;
- в Чукотской зоне: месторождения рудного золота Песчанка, Кекура, Клен, олово-вольфрамовое месторождение Пырнакайские штокверки и Аммаамское угольное месторождение Беринговского бассейна [2; 3].

Для освоения перспективных месторождений потребуется строительство новых и/или расширение существующих энергетических объектов. Предполагается строительство электростанций на попутном нефтяном газе, угле, дизельном топливе или сжиженном природном газе (СПГ) и новых котельных на угле. В качестве альтернативных источников энергии в труднодоступных арктических районах в последнее время рассматриваются атомные станции малой мощности (АСММ): в Северо-Якутской зоне — на месторождении Кючус, в Чукотской зоне — на месторождении Песчанка. В данном исследовании планы Госкорпорации «Росатом» по развитию малой атомной энергетики учтены на уровне сценарных условий. Использование возобновляемых источников энергии на арктических территориях восточных регионов, по мнению авторов, не окажет существенно влияния на рост расхода органического топлива, которое останется в ближайшей перспективе основным энергоносителем для относительно крупных промышленных потребителей.

### **Подход к экологической оценке последствий освоения перспективных проектов**

Для оценки экологических последствий от реализации перспективных проектов освоения месторождений арктических зон восточных регионов России проведен расчет количества выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, характерных для тепловых электростанций, котельных и ДЭС, и основного парникового газа при стационарном сжигании топлива — диоксида углерода.

В качестве загрязняющих веществ рассмотрены твердые частицы, оксиды серы, азота, углерода.

Расчет выбросов проведен с использованием имеющихся у авторов расчетных моделей на основе утвержденных методик по определению количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу котельными установками различной мощности и дизельными электростанциями [4—7]. В основе методик лежат зависимости массы выбросов от количества сожженного топлива, его качественного состава, учтены топочные характеристики основного энергетического оборудования, а также степень улавливания загрязняющих веществ в очистных устройствах. По сравнению с зарубежными методиками массу выбросов возможно оценить не только путем непосредственных замеров, но и расчетным способом, тогда как, например, в Европе, Австралии [8—9] выбросы оцениваются на основе периодических измерений концентраций загрязняющих веществ в дымовых газах и с учетом специальных коэффициентов выбросов.

Оценка количества выбросов диоксида углерода проведена на основе приказа Министерства природных ресурсов России № 300, в котором утверждены методические указания и руководство по количественному определению объемов выбросов парниковых газов [10]. При этом к парниковым газам, подлежащим обязательному учету в категории стационарного сжигания топлива, отнесены выбросы углекислого газа. В целом же масса выбросов диоксида углерода зависит от расхода топлива и коэффициента выбросов  $\text{CO}_2$  для каждого конкретного вида топлива, которые разработаны в соответствии с методологией Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [11]. В отечественной методике коэффициенты выбросов  $\text{CO}_2$  представлены достаточно подробно и имеют величины от 1,59 для природного газа до 2,96 т  $\text{CO}_2$ /т условного топлива (у. т.) для бурых углей, тогда как в методике МГЭИК указаны верхние и нижние пределы коэффициентов выбросов  $\text{CO}_2$ .

В настоящем исследовании расчетные модели адаптированы к рассматриваемой территории посредством технических показателей энергоисточников, качественных характеристик и расхода используемого топлива.

Основные проекты освоения минерально-сырьевых ресурсов в арктических территориях восточных регионов России обозначены в исследовании Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, в результате которых оценены потребности в электрической и тепловой энергии, обоснованы виды и расходы рекомендуемых энергоносителей [2—3].

При освоении перспективных месторождений значительно изменится потребность в энергоресурсах относительно текущего уровня топливопотребления. Так, при освоении нефтегазовых месторождений на энергетические нужды планируется сжигать попутный нефтяной газ. Предусматривается сжигание угля новых месторождений: малолемберовского —

**Таблица 1. Изменение потребности в топливе энергоисточников на арктических территориях восточных регионов России при реализации перспективных проектов с учетом существующего состояния**

Вид топлива	Потребность в топливе, тыс. т у. т.				
	Существующее состояние	Перспективные проекты		Всего	
		без СПГ	с СПГ	без СПГ	с СПГ
Уголь	420	677	677	1097	1097
Нефть	73	48	48	121	121
Газовое	3129	3303	4349	6433	7478
В том числе СПГ	—	—	1046	—	1046
Газовый конденсат	22	—	—	22	22
Дизельное топливо	244	437	—	681	244
Ядерное топливо	204	1141	—	1345	204
Дрова	3	—	—	3	3
<i>Всего</i>	4095	5606	5074	9702	9169

в Таймыро-Туруханской зоне, амаамского и фандюшкинского — в Чукотской зоне. Существенно увеличится объем сжигания дизельного топлива во всех зонах, а также потребление нефти в энергообъектах Северо-Якутской зоны [2]. Следует отметить, что в данном исследовании учтены не все возможные проекты, в том числе и газификация угля в подземных горизонтах на базе Таймыльскского месторождения каменных углей в Булунском улусе Республики Саха (Якутия) [12], а рассмотрены наиболее подготовленные к реализации.

Реализация перспективных проектов освоения месторождений, по оценкам авторов, потребует значительного количества топливно-энергетических ресурсов от 5,1 до 5,6 млн т у. т. в зависимости от возможного варианта топливообеспечения. Предусматриваются два варианта топливообеспечения: с использованием СПГ (при организации инфраструктуры транспортировки и хранения СПГ в арктических зонах) и без использования СПГ (при отсутствии соответствующей инфраструктуры). С учетом существующих расходов топлива на энергоснабжение в количестве 4,1 млн т у. т. объем топливопотребления возрастет до 9,2 млн т у. т. в варианте с использованием СПГ, который станет альтернативой дизельному топливу во всех арктических зонах и атомной генерации для месторождения Песчанка в Чукотской арктической зоне. В варианте без использования СПГ потребность в топливе может возрасти до 9,7 млн т у. т. [2] (табл. 1).

В расчетах экологических последствий от реализации проектов освоения ресурсов учитываются все виды органического топлива кроме ядерного, при

использовании которого выбросы загрязняющих веществ в атмосферу отсутствуют.

В расчетах массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу учтены качественные характеристики сжигаемого в настоящее время топлива в каждой арктической зоне [1; 13] и топлива вновь вводимых энергообъектов для освоения перспективных месторождений (табл. 2) [14—17].

Для вновь строящихся объектов энергетики предполагается внедрение современных природоохранных мер и технологий. В настоящее время с учетом требований Правительства РФ и Министерства природных ресурсов и экологии разработаны различные нормативные акты по внедрению инновационных технологий для перехода на наилучшие доступные технологии (НДТ)<sup>1</sup>. Для объектов энергетики в части технологических решений для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу хорошо зарекомендовали себя на отечественном рынке технологии, которые отражены в информации

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий» от 19 марта 2014 г. № 398-р. — URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-19032014-n-398-r/>; распоряжение Правительства РФ «Об утверждении плана мероприятий (“дорожная карта”) “Внедрение инновационных технологий и современных материалов в отраслях топливно-энергетического комплекса” на период до 2018 года» от 3 июля 2014 г. № 1217-р. — URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-03072014-n-1217-r/>.

**Таблица 2. Качественные характеристики перспективных топлив в арктической зоне восточных регионов России**

Вид топлива	Тип, марка	Зольность на рабочую массу, %	Содержание серы на рабочую массу, %	Теплотворная способность, МДж/кг
Газ попутный нефтяной	—	0	0,46	33,8
СПГ	—	0	0	46,0
Уголь:				
малолемберовский	Коксующийся К, КС	14,0	0,36	33,8
фандюшкинское поле	Каменный Ж	10,0	0,40	28,4
амаамский	Каменный Ж	20,5	0,73	25,5

онно-технических справочниках (ИТС 22-2016, ИТС 38-2017) [18; 19].

Следует отметить, что возможность применения НДТ имеется и на действующих предприятиях энергетики и связана с совершенствованием систем очистки, прежде всего с автоматизацией технологических процессов очистки выбросов, внедрением энерго-ресурсосберегающих принципов эксплуатации и пр.

В этой связи предполагается, что на новых угольных ТЭС в Таймыро-Туруханской и Чукоткой зонах будет установлено современное очистное оборудование со степенью улавливания твердых частиц не менее 98%. В настоящее время газоочистка уходящих газов на предприятиях топливно-энергетического комплекса не только арктических территорий, но и России отсутствует. Тем не менее в перспективе предполагается, что снижение выбросов  $SO_2$  возможно организовать за счет использования на ТЭС мокрых систем золоулавливания с трубами Вентури или эмульгаторов, соответственно выброс оксидов серы будет снижаться примерно на 20%, что актуально для арктических территорий.

В качестве перспективных природоохранных технологий для ТЭС и в связи с внедрением наилучших

доступных технологий предлагается использовать малотоксичные горелки с двухступенчатым сжижением угля и рециркуляцией дымовых газов, позволяющие снижать выбросы оксидов азота до 20%.

Для котельных предполагается увеличение степени пылеулавливания до 85% с установкой современных батарейных циклонов как в действующих, так и во вновь вводимых угольных теплоисточниках.

### Экологическая оценка последствий проектов перспективного освоения месторождений

Результаты расчетов массы выбросов в атмосферу приведены для каждой арктической зоны восточных регионов России, что позволяет конкретизировать экологические проблемы как на существующем уровне энергоснабжения, так и с учетом перспектив освоения месторождений.

**Таймыро-Туруханская арктическая зона.** В табл. 3 представлены объемы потребления топлива различными энергообъектами в Таймыро-Туруханской арктической зоне. Необходимо отметить, что в настоящее время на ТЭС сжигается природный газ, а в котельных — уголь Кайерканского и Хатанг-

**Таблица 3. Объем сжигаемого топлива в энергообъектах Таймыро-Туруханской зоны**

Вид топлива	Существующее состояние			Перспективные проекты	
	ТЭС	Котельная	ДЭС	ТЭС	ДЭС
Уголь, тыс. т	—	106	—	443	—
Попутный нефтяной газ, тыс. м <sup>3</sup>	—	—	—	2123	—
Природный газ, тыс. м <sup>3</sup>	2666	—	—	442	—
Дизельное топливо, тыс. т	—	—	11	—	85 *
СПГ, тыс. т	—	—	—	78 **	—

\* Вариант без СПГ.

\*\* Вариант с использованием СПГ.

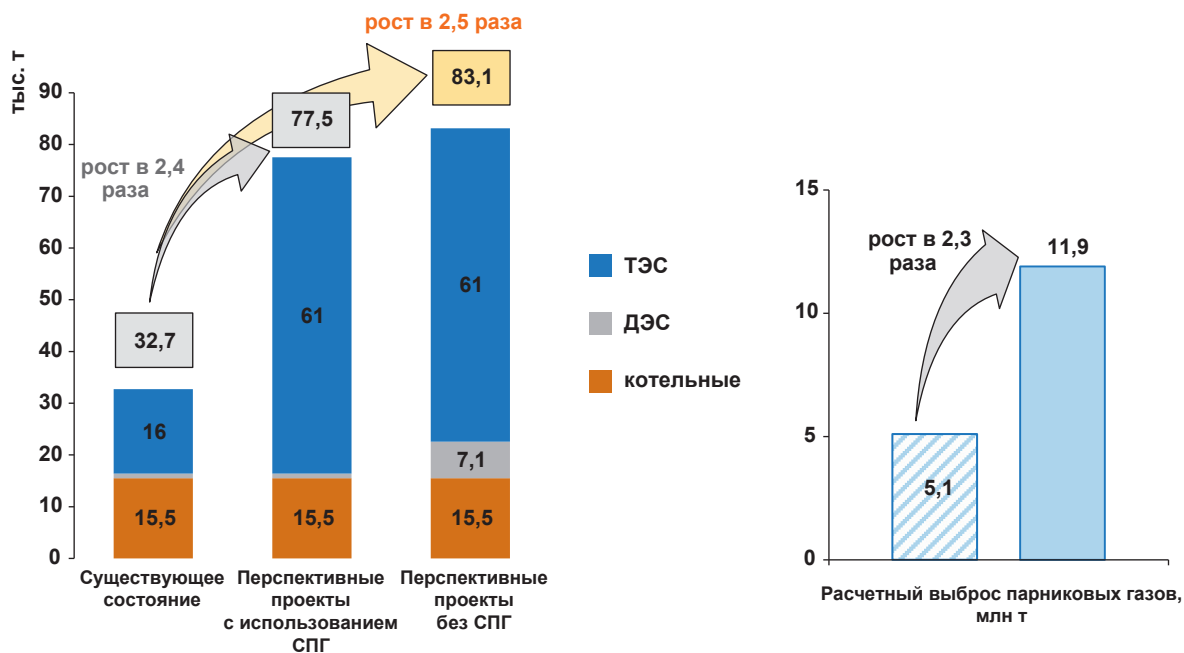


Рис. 1. Изменение структуры расчетных выбросов в атмосферу Таймыр-Туруханской зоны по типам энергообъектов и в зависимости от варианта топливопотребления  
 Fig. 1. Changes in the structure of estimated emissions into the atmosphere of the Taimyr-Turukhansk zone by types of power facilities and depending on the fuel consumption option

ского месторождений и в небольших количествах привозной канско-ачинский и минусинский угли.

При реализации перспективных проектов существенную долю в топливопотреблении составит попутный нефтяной газ. Заметно увеличится количество сжигаемого угля на ТЭС за счет освоения перспективного Малолемберовского месторождения коксующихся углей. В варианте с использованием СПГ сжигание дизельного топлива для энергоснабжения перспективных проектов не предусматривается.

В целом расчетный выброс загрязняющих веществ в атмосферу по Таймыр-Туруханской зоне характеризуется ростом в 2,4—2,5 раза при освоении перспективных проектов как без использования СПГ, так и с его применением (рис. 1)<sup>2</sup>.

Основными источниками выбросов останутся, как и в настоящее время, крупные электростанции вне зависимости от вариантов топливопотребления, их доля в суммарных выбросах составит 73—79%. Суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в варианте топливоснабжения без использования СПГ на 5,6 тыс. т больше, что объясняется значительным расходом попутного нефтяного газа. Различий между вариантами топливопотребления в выбросах диоксида углерода практически нет: в обоих вариантах рост составит немногим более 2,3 раза.

Существенным образом изменится ингредиентная структура выбросов загрязняющих веществ в Тай-

мыр-Туруханской арктической зоне при сравнении перспективного состояния с существующим (рис. 2).

Если в настоящее время преобладают выбросы оксида углерода и твердых частиц, то при реализации перспективных проектов освоения месторождений увеличится доля диоксида серы (с 3% до 29%), также возрастет выброс оксидов азота (с 20% до 24%). Основной причиной такого роста является значительное увеличение потребления попутных нефтяных газов на нужды энергетических предприятий.

**Северо-Якутская арктическая зона.** В настоящее время потребность в топливно-энергетических ресурсах формируется за счет всех типов энергообъектов. При реализации перспективных проектов в топливно-энергетическом балансе Северо-Якутской зоны появится попутный нефтяной газ, а в варианте с созданием соответствующей инфраструктуры — и СПГ (табл. 4). При энергоснабжении проекта освоения Кючус в Усть-Янском районе от АСММ расход дизельного топлива для перспективных проектов сократится практически вдвое, что приведет к выравниванию этого варианта по экологическим показателям с вариантом на основе СПГ.

Расчетный выброс загрязняющих веществ в атмосферу при реализации перспективных проектов характеризуется ростом на 20—30% по сравнению с существующим уровнем и преимущественным вкладом котельных (рис. 3).

Разница в выбросах между вариантами топливопотребления составляет 8 тыс. т, что объясняется замещением дизельного топлива на сжиженный природный газ — в варианте использования СПГ.

<sup>2</sup> Все рисунки, представленные в статье, выполнила Е. П. Майсюк.

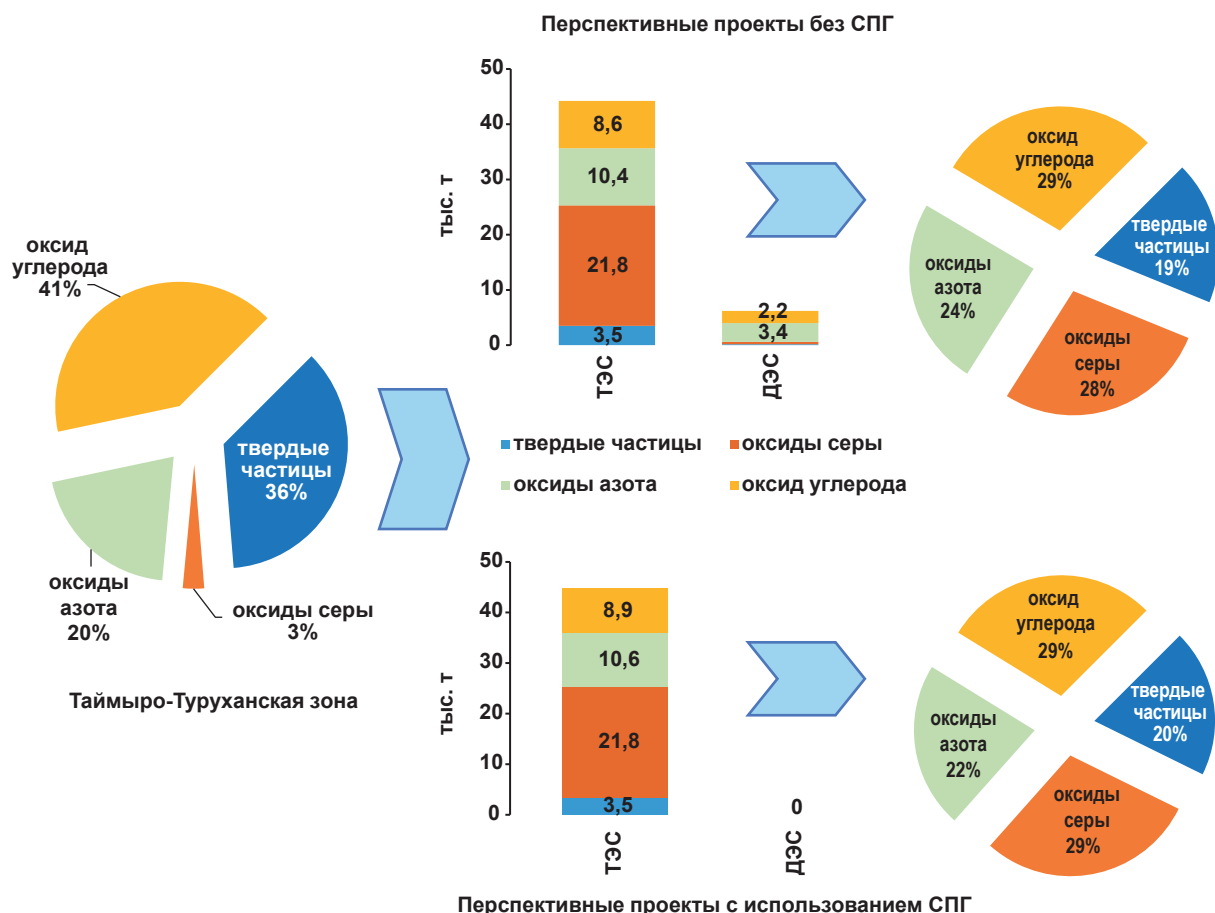


Рис. 2. Изменение ингредиентной структуры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Таймыро-Туруханской зоны при реализации перспективных проектов освоения территории  
 Fig. 2. Changes in the ingredient structure of the pollutant emissions in the Taimyr-Turukhansk zone during the implementation of promising projects for the territory development

Таблица 4. Объем сжигаемого топлива в энергообъектах Северо-Якутской зоны

Вид топлива	Существующее состояние			Перспективные проекты	
	ТЭС	Котельная	ДЭС	ТЭС	ДЭС
Уголь, тыс. т	18	181	—	—	—
Попутный нефтяной газ, тыс. м <sup>3</sup>	—	—	—	298	—
Нефть и конденсат, тыс. т	2	64	—	33	—
Дрова, тыс. пл. м <sup>3</sup> *	—	7	—	—	—
Дизельное топливо, тыс. т	—	—	94,7	—	121 **
СПГ, тыс. т	—	—	—	111 ***	—

\* Пл. м<sup>3</sup> — плотный кубический метр.

\*\* Вариант без СПГ.

\*\*\* Вариант с использованием СПГ.

Следует отметить, что при любом варианте топливопотребления на нужды энергетики при освоении перспективных месторождений размер выбросов диоксида углерода возрастет практически в 2,1 раза по сравнению с существующим уровнем эмиссии.

Ингредиентная структура выбросов несколько меняется по сравнению с существующим состоянием и характеризуется сокращением доли твердых частиц и незначительным ростом оксидов серы и азота (рис. 4).

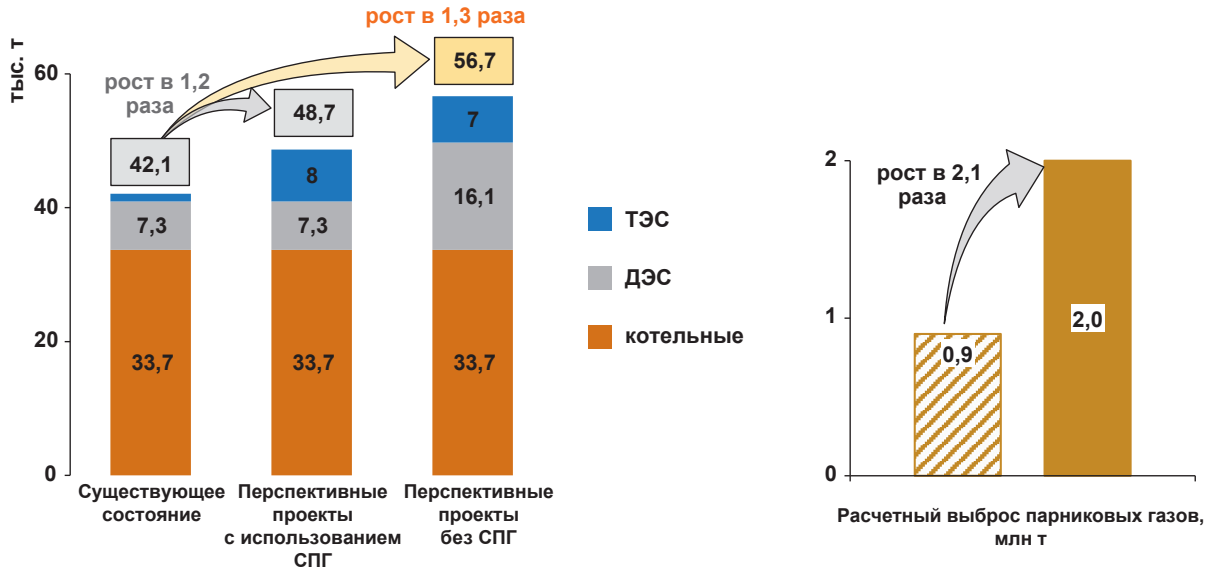


Рис. 3. Изменение структуры расчетных выбросов в атмосферу Северо-Якутской зоны по типам энергообъектов и в зависимости от варианта топливопотребления  
 Fig. 3. Changes in the structure of estimated emissions in the North Yakutsk zone by types of power facilities and depending on the fuel consumption option

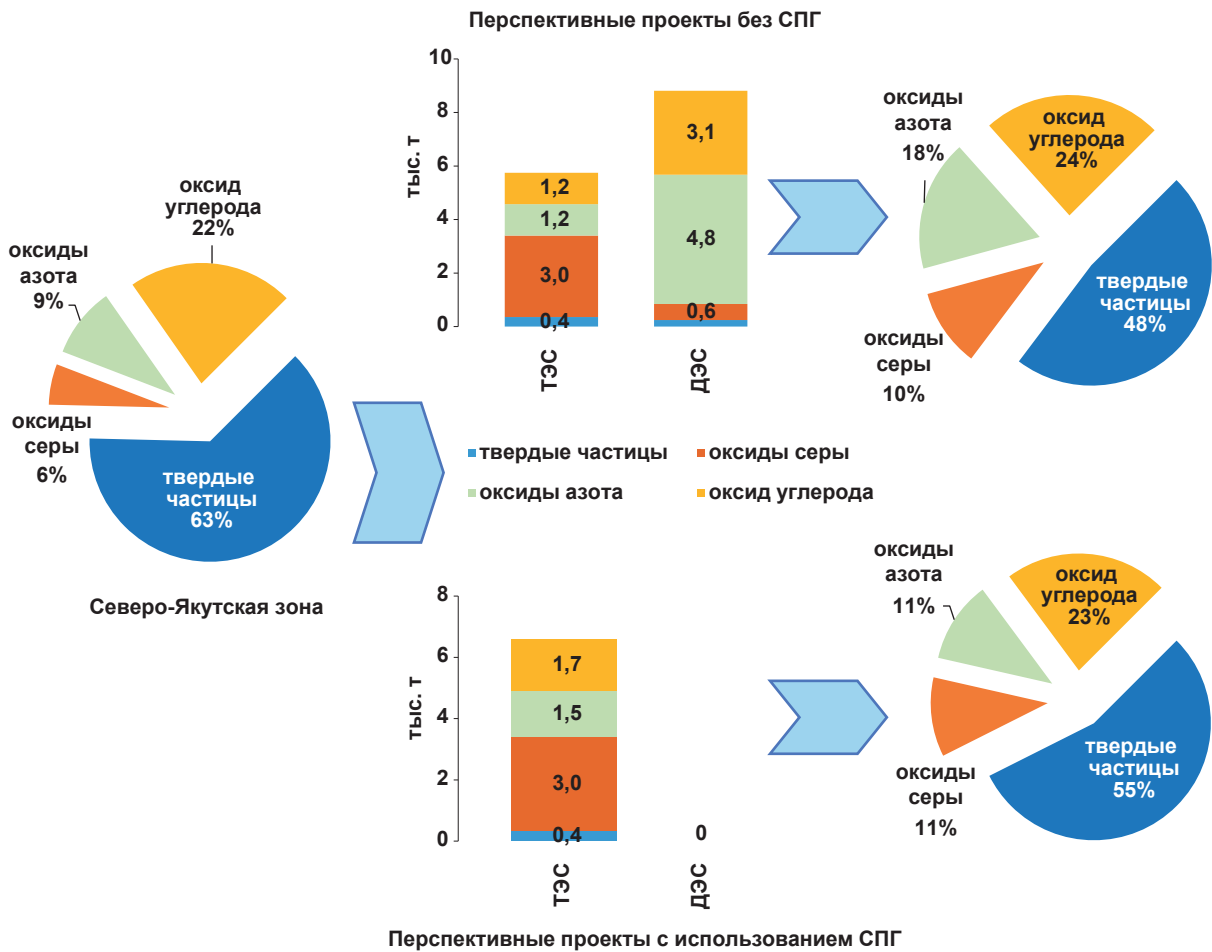


Рис. 4. Изменение ингредиентной структуры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Северо-Якутской зоны при реализации перспективных проектов освоения территории  
 Fig. 4. Changes in the ingredient structure of the pollutant emissions in the North Yakutsk zone during the implementation of promising projects for the territory development



Таблица 5. Объем сжигаемого топлива в энергообъектах Чукотской зоны

Вид топлива	Существующее состояние			Перспективные проекты		
	ТЭС	Котельная	ДЭС	ТЭС	Котельная	ДЭС
Уголь, тыс. т	174	114	—	142	47	—
Природный газ, тыс. м <sup>3</sup>	55	—	—	—	—	—
Дизельное топливо, тыс. т	—	—	62	—	—	96 *
СПГ, тыс. т	—	—	—	476 **	—	—

\* Вариант без СПГ.

\*\* Вариант с использованием СПГ.

**Чукотская арктическая зона.** Топливопотребление в энергообъектах Чукотской зоны в настоящее время характеризуется преобладанием угля. При освоении новых месторождений существенно увеличится расход угля и дизельного топлива при отсутствии СПГ, в ином случае газовое топливо станет преобладающим энергоресурсом, вытеснив природ ядерного и дизельного топлива (табл. 5).

Расчетный выброс загрязняющих веществ и диоксида углерода в атмосферу представлен на рис. 5. Оценивая существующий уровень и перспективы освоения месторождений в Чукотской зоне, следует отметить, что рост составит 30—40%, тогда как увеличение по отдельным ингредиентам загрязняющих веществ (оксиды серы и азота) достигает 2 и 2,4 раза. Это связано с приростом потребления дизельного топлива при варианте без СПГ. Разница в выбросе в зависимости от варианта топливопотребления составляет 3,4 тыс. т.

Структура выбросов по энергообъектам несколько изменится, однако как в настоящее время, так

и в перспективе основными источниками эмиссии останутся угольные котельные. Значительно возрастут выбросы диоксида углерода в варианте топливоснабжения с использованием СПГ — в три раза по сравнению с существующим уровнем.

Ингредиентная структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Чукотской зоны (рис. 6) при реализации проектов освоения перспективных месторождений меняется в сторону снижения выбросов твердых частиц и увеличения выбросов оксида углерода.

### Арктические территории восточных регионов России

С экологических позиций реализация перспективных проектов, связанных с освоением месторождений арктических территорий восточных регионов России, в целом приведет к росту массы выбросов загрязняющих веществ только от объектов энергетики на 61 тыс. т в варианте с СПГ или на 78 тыс. т в варианте без СПГ (рис. 7). Разница в выбросах

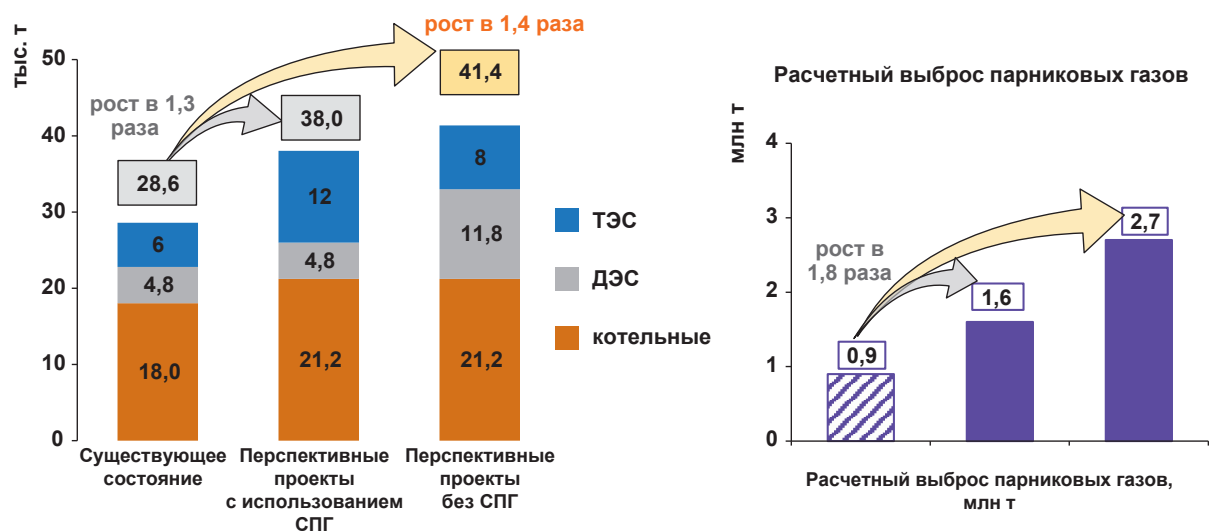


Рис. 5. Изменение структуры расчетных выбросов в атмосферу Чукотской зоны по типам энергообъектов и в зависимости от варианта топливопотребления

Fig. 5. Changes in the structure of estimated emissions in the Chukotka zone by types of power facilities and depending on the fuel consumption option



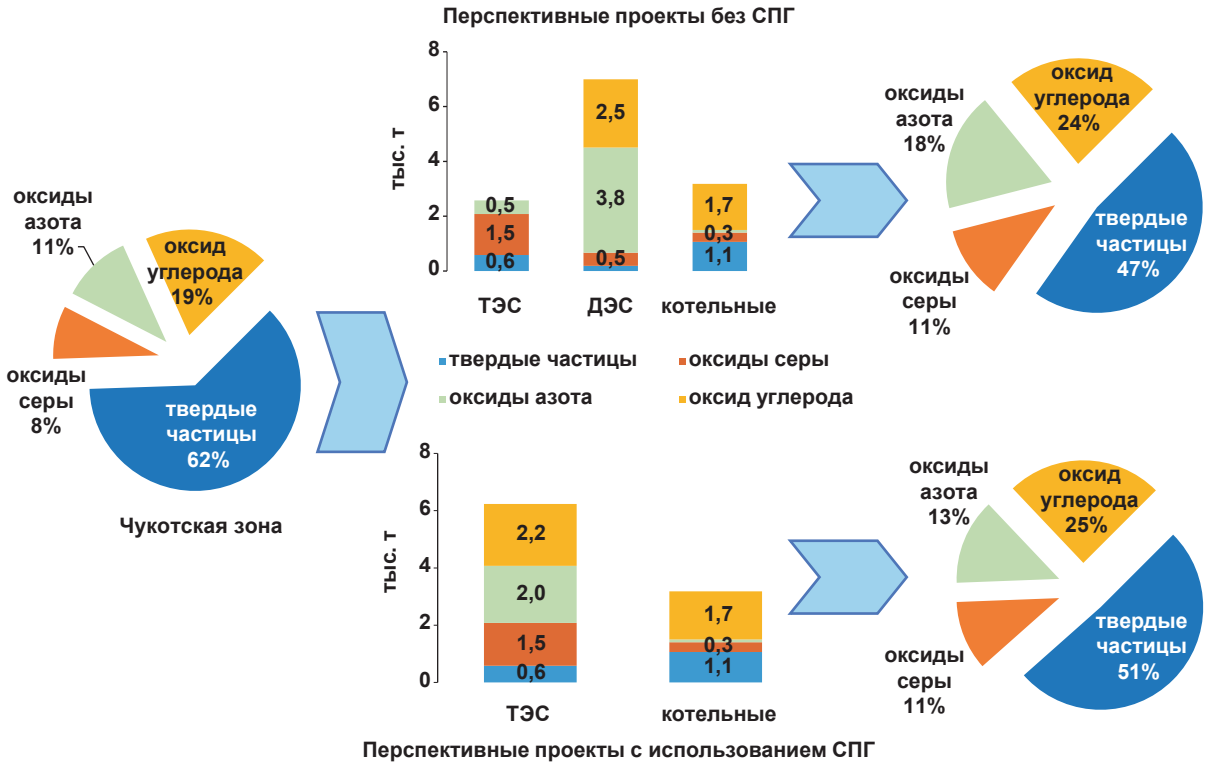


Рис. 6. Изменение ингредиентной структуры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Чукотской зоны при реализации перспективных проектов освоения территории  
 Fig. 6. Changes in the ingredient structure of the pollutant emissions in the Chukotka zone during the implementation of promising projects for the territory development

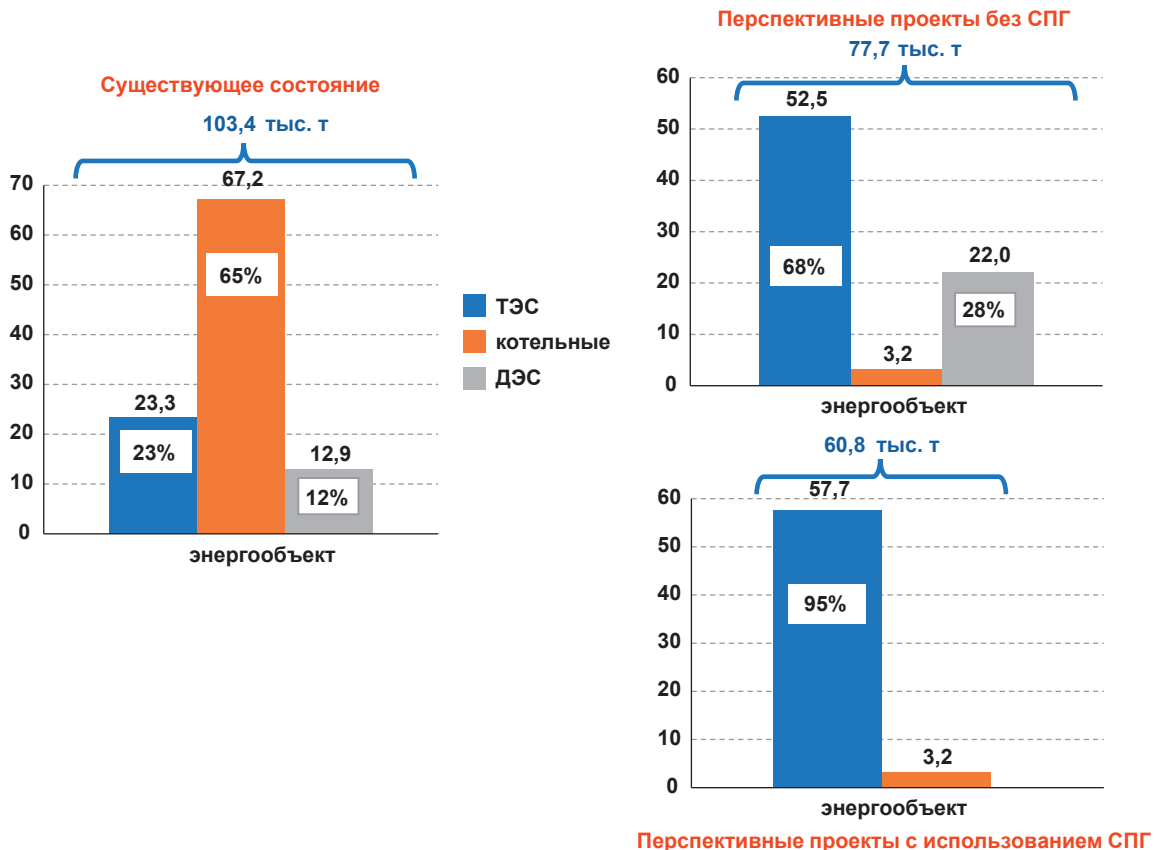
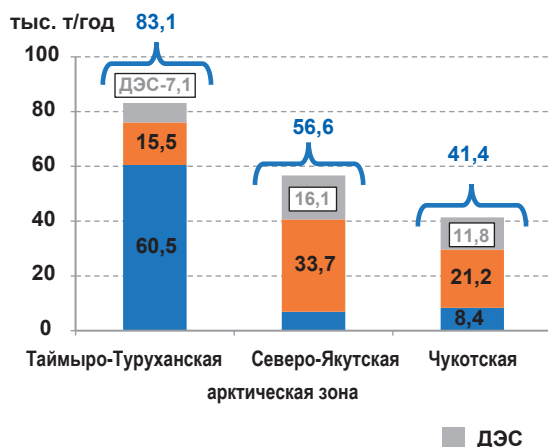


Рис. 7. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу арктических территорий восточных регионов России  
 Fig. 7. Pollutant emissions in the Arctic territories of Russia's eastern regions

**Выбросы с учетом существующей ситуации и перспективных проектов без СПГ**  
181,1 тыс. т



**Выбросы с учетом существующей ситуации и перспективных проектов с использованием СПГ**  
164,2 тыс. т

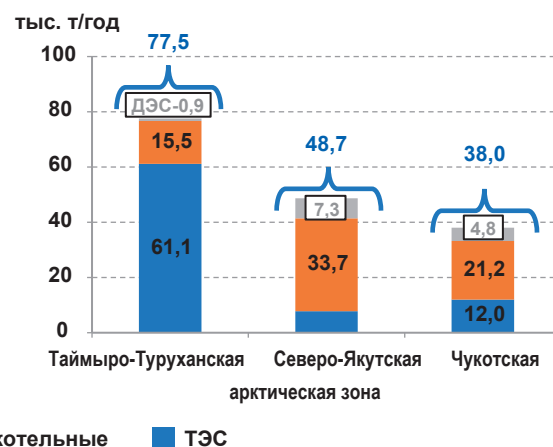


Рис. 8. Суммарные расчетные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу арктических территорий восточных регионов России при освоении перспективных месторождений в зависимости от вариантов топливотребления  
Fig. 8. The total estimated emissions of pollutants in the Arctic territories of the Russian eastern regions during the development of promising deposits, depending on the fuel consumption options

между вариантами топливотребления оценивается в 16,9 тыс. т. По сравнению с существующим уровнем произойдет увеличение массы выбросов в 1,6—1,8 раза в зависимости от варианта топливотребления. Основной прирост дадут электростанции на нефтяном попутном газе — 68% в варианте без СПГ и 94% в варианте с использованием СПГ.

Расчетная масса выбросов в целом для трех арктических зон восточных регионов России оценивается в 164—181 тыс. т в зависимости от варианта топливотребления (рис. 8). Наибольшее количество выбросов будет поступать в атмосферу Таймыро-Туруханской зоны — 77,5—83,1 тыс. т, в Северо-Якутской зоне расчетный выброс оценивается в 48,7—56,6 тыс. т, в Чукотской зоне — в 38—41,4 тыс. т. Основные источники эмиссии в Таймыро-Туруханской зоне — ТЭС, в двух других арктических зонах — котельные.

Экологические последствия при реализации проектов освоения месторождений характеризуются преимущественно ростом диоксидов серы. Прирост выбросов оксидов азота в варианте без СПГ (24,2 тыс. т) связан с сохранением и ростом в топливотреблении дизельного топлива, тогда как его замещение в варианте с использованием СПГ позволяет снизить этот показатель до 14,2 тыс. т (табл. 6). Однако с учетом существующего состояния перспективная ингредиентная структура выбросов характеризуется наибольшей долей твердых частиц, в зависимости от варианта топливотребления от 34% до 37%.

Прирост выбросов парниковых газов при освоении перспективных проектов составит порядка

8,6—9,6 млн т в зависимости от вариантов топливотребления, что приведет к росту эмиссии  $\text{CO}_2$  до 15,5—16,6 млн т (табл. 7). Основными источниками выбросов диоксида углерода являются ТЭС, на которых сжигаются уголь и газовое топливо. Эти станции расположены преимущественно в Таймыро-Туруханской арктической зоне.

Следует отметить, что в приведенной экологической оценке последствий рассчитаны выбросы лишь от сжигания топлива в объектах энергетики, так называемые топливные выбросы. Оценка количества эмиссии от других производств не проводилась.

### Заклучение

Обобщая полученные расчетные данные по выбросам в атмосферу загрязняющих веществ и парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ), можно сформулировать следующие основные выводы. Экологическая оценка последствий реализации проектов освоения минерально-сырьевых ресурсов на арктических территориях восточных регионов России показала, что с ростом потребления энергоресурсов будет происходить и рост количества выбросов загрязняющих веществ (до 181 тыс., или в 1,8 раза больше по сравнению с существующим уровнем) даже с учетом внедрения современных природоохранных мер. Как показывают расчеты, угольная генерация с учетом средозащитных мероприятий оказывает меньшее влияние как от ТЭС, так и от котельных. А сжигание попутного нефтяного газа в энергетических установках без его предварительной очистки связано с существенным ростом выбросов диоксида серы.

**Таблица 6. Экологические последствия при освоении перспективных проектов на арктических территориях восточных регионов России**

Показатель	Выброс загрязняющих веществ, тыс. т				
	Твердые частицы	Оксиды серы	Оксиды азота	Оксид углерода	Всего
Существующее состояние	56,0	5,5	13,7	28,2	103,4
Прирост выбросов от перспективных проектов без СПГ	6,1	28,2	24,2	19,2	77,7
Экологические последствия варианта без СПГ	62,1	33,7	37,9	47,4	181,1
Прирост выбросов от перспективных проектов с использованием СПГ	5,5	26,7	14,2	14,4	60,8
Экологические последствия варианта с использованием СПГ	61,5	32,2	27,9	42,6	164,2
Кратность роста от существующего уровня без СПГ / с СПГ	1,1/1,1	6,1/5,9	2,8/2,0	1,7/1,5	1,8/1,6

**Таблица 7. Расчетный выброс CO<sub>2</sub> в разрезе арктических зон по категориям энергообъектов при освоении перспективных проектов с учетом существующего состояния**

Арктическая зона	Проекты освоения без СПГ			Всего	Проекты освоения с использованием СПГ			Всего
	ТЭС	Котельные	ДЭС		ТЭС	Котельные	ДЭС	
Таймыро-Туруханская	11,4	0,2	0,3	11,9	11,7	0,2	0,04	11,9
Северо-Якутская	0,8	0,6	0,6	2,0	1,1	0,6	0,3	2,0
Чукотская	0,8	0,3	0,5	1,6	2,2	0,3	0,2	2,7
<i>Итого</i>	<i>13,0</i>	<i>1,1</i>	<i>1,4</i>	<i>15,5</i>	<i>15,0</i>	<i>1,1</i>	<i>0,5</i>	<i>16,6</i>

При освоении перспективных месторождений существенно (более чем в 2,5 раза) возрастет эмиссия от объектов энергетики в Таймыро-Туруханской зоне. В условиях, когда эти загрязняющие вещества в Таймыро-Туруханском районе и в настоящее время выбрасывается в значительных количествах (1830 тыс. т/год только от Норильского горно-металлургического комбината [20]), следует предусмотреть меры по снижению выбросов SO<sub>2</sub>.

В будущем только от энергетической деятельности на нужды освоения перспективных месторождений арктических территорий востока России выброс загрязняющих веществ может увеличиться на 61—78 тыс. т в зависимости от использования СПГ. А эмиссия парниковых газов в виде диоксида углерода может увеличиться с 7 до 16 млн т, фактически в 2,3 раза.

В целом основное антропогенное воздействие на окружающую среду исследуемой территории оказывают деятельность по добыче ископаемых ресурсов, энергетическое производство, которое прежде всего нацелено на обеспечение этой добычи.

Освоение перспективных месторождений будет также способствовать росту эмиссии диоксида углерода не менее чем в 2,3—2,5 раза, что требует предусматривать меры по предотвращению образования парниковых газов.

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания программы фундаментальных исследований Российской Федерации «Комплексные исследования приоритетов пространственного развития энергетики азиатских регионов России с учетом тенденций технологического развития ТЭК страны и энергетического сотрудничества со странами Северо-Восточной Азии». Номер темы FWEU-2021-0004. Регистрационный номер AAAA-A21-121012090010-7.

**Литература**

1. Майсюк Е. П., Иванова И. Ю. Экологическая оценка природы Восточной Арктики: вклад объектов энергетики // Энергет. политика. — 2021. — № 5. — С. 80—93.

2. Санеев Б. Г., Иванова И. Ю., Ижбулдин А. К., Тузова Т. Ф. Топливо для потребителей региона восточной Арктики // Энергет. политика. — 2021. — № 7. — С. 14—26.
3. Санеев Б. Г., Иванова И. Ю., Корнеев А. Г. Оценка электрических нагрузок потенциальных проектов освоения месторождений минерально-сырьевых ресурсов в восточных регионах Арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 1 (37). — С. 4—14. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-4-14.
4. 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 Российской Федерации (при участии фирмы «Интеграл», Санкт-Петербург), 1999. — 53 с.
5. Методическое письмо НИИ Атмосфера «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” от 17 мая 2000 г. № 335/33-07 (М., 1999)». — СПб.: НИИ Атмосфера, 2000. — 20 с.
6. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. РД 34.02.305-98/ВТИ. — М., 1998.
7. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок / М-во природ. ресурсов Российской Федерации; НИИ Атмосфера; Фирма «Интеграл». — СПб., 2001. — 15 с.
8. National pollutant inventory. Emission estimation technique manual for combustion in boilers. Version 3.6 / Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. — [S. l.], 2011. — 55 p.
9. EEA Report No 13/2019 Technical guidance to prepare national emission inventories. The joint EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. — URL: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emeep-eaos-po-inventarizaciivybrosov-2019>.
10. Методические указания и руководство по количественному определению объемов выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации. — Утв. приказом Минприроды России № 300 от 30 июня 2015 г. — URL: <http://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyx-gazov>.
11. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. — Vol. 2. — URL: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf).
12. Даваахуу Н., Потравный И. М., Милославский В. Г., Уткин И. И. Обоснование и механизм реализации проекта газификации угля в российской Арктике // Уголь. — 2019. — № 9. — С. 88—93. — DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-88-93.
13. 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.
14. О Концепции развития геологоразведочных работ по созданию топливно-энергетического комплекса на территории Таймырского (Долгано-Ненецкого автономного округа). — URL: <http://docs.cntd.ru/document/432848346>.
15. Вялов В. И., Гуревич А. Б., Волкова Г. М. и др. Коксующиеся угли Арктической зоны России // Георесурсы. — 2019. — № 21 (3). — С. 107—124. — URL: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.107-124/>.
16. Марков А. Г. Перспективы использования углей северной части Таймырского бассейна // Седьмая научно-практическая школа-конференция молодых ученых и специалистов с международным участием «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых»: Тезисы докладов. — М.: ВИМС, 2017. — С. 75—76.
17. Качественные характеристики угольной продукции России: Информационно-справочное издание. — М.: Росинформуголь, 2006. — 258 с.
18. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях: Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС 22-2016) / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии: Бюро НДТ. — М., 2016. — 212 с.
19. 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.
20. Отчет об устойчивом развитии группы компаний «Норникель» за 2019 год. — URL: [https://www.nornickel.ru/files/ru/CSOpdf/NN2019\\_Digital.pdf](https://www.nornickel.ru/files/ru/CSOpdf/NN2019_Digital.pdf).

### Информация об авторах

Санеев Борис Григорьевич, доктор технических наук, руководитель научного направления «Комплексные проблемы энергетики и региональная энергетическая политика», заведующий отделом, профессор, Инсти-

тут систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130), e-mail: saneev@isem.irk.ru.

*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, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией энергоснабжения децентрализованных потребителей, 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**

Санеев Б. Г., Майсюк Е. П., Иванова И. Ю. Оценка экологических последствий от объектов энергетики при реализации перспективных проектов освоения месторождений арктических территорий восточных регионов России // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 4. — С. 466—480. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-4-466-480.

---

## **ASSESSMENT OF ENERGY-RELATED ENVIRONMENTAL IMPACTS DURING THE IMPLEMENTATION OF PROMISING PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS IN THE ARCTIC TERRITORIES OF THE RUSSIAN EASTERN REGIONS**

Saneev, B. G., Maysyuk, 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 May 17, 2021

### **Abstract**

The ecological aspects of the functioning of energy facilities in the Arctic zones of the eastern regions of Russia are of increasing importance for the strategic interests of the country, on the one hand, and due to the specific features of territories with a weak ability to restore the natural environment, on the other hand. The studies carried out at the Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences revealed the fact that the current environmental situation in the eastern regions of the Arctic is unfavorable.

Promising projects for the development of mineral deposits are associated with an increase in the consumption of all types of energy resources. In addition, this will require intensive development of the energy sector: from the expansion of existing power facilities to the construction of new ones using associated petroleum gas, and possibly LNG.

The researchers calculated emissions of pollutants and CO<sub>2</sub> for various energy sources (thermal power plants, low-power boilers, and diesel power plants) taking into account the growth of fuel consumption.

Projects for the development of deposits in the Arctic zones under consideration will lead to an increase in emissions from 61 to 78 thousand tons, depending on fuel consumption options even in case of the introduction of the best available technologies at the newly commissioned power facilities. Thus, the total emission, given the current level, will be from 164 to 181 thousand tons. A considerable contribution to the atmospheric pollution will be made by the plants running on associated petroleum gas in the Taimyr-Turukhan Arctic zone.

In general, the implementation of projects will lead to the following distribution of the total emission of pollutants from the energy sector: 47% — the Taimyr-Turukhan zone, 30% — the North Yakutsk zone with a predominant contribution from coal-fired boilers, and, accordingly, 23% of all emissions will enter the atmosphere of the Chukotka zone, where coal-fired boiler houses also prevail.

With the implementation of advanced development projects, CO<sub>2</sub> emissions will also increase from 7 to 16.6 million tons with their predominance in the Taimyr-Turukhan zone (11,9 million tons). Thus, the assessment of the environmental impact from the development of promising deposits in the Arctic territories of the eastern regions of Russia has shown that the emissions of pollutants will increase by 1.6-1.8 times, and those of carbon dioxide by 2.2-2.3 times. Given that the particulate matter will remain the main impurity in the composition of pollutants (up to 35-37%) due to the existing power facilities, coal-fired thermal power plants and boiler houses need a large-scale modernization of the collection equipment. Sulfur dioxides are becoming another predominant impurity, mainly due to newly commissioned facilities running on associated petroleum gas. Therefore, it is necessary to envisage measures to reduce them.

**Keywords.** Arctic zone, emission of pollutants, greenhouse gases, energy (power) facilities, promising projects, deposits of mineral resources, environmental problems.

The work was carried out within the framework of the state assignment project of the Russian Federation Program of fundamental research “Comprehensive studies of the priorities of the spatial energy development in the Asian regions of Russia, taking into account the trends in the technological development of the country’s fuel and energy complex and energy cooperation with the countries of Northeast Asia”. Topic number: WFEU-2021-0004. Registration number: AAAA-A21-121012090010-7.

## References

1. Maysyuk E. P., Ivanova I. Yu. Environmental assessment of the current state of the environment in the eastern sector of the Russian Arctic: contribution of energy objects. *Energeticheskaya politika*, 2021, no. 5, pp. 27—38. (In Russian).
2. Saneev B. G., Ivanova I. Yu., Izhbuldin A. K., Tuguzova T. F. Fuel for consumers in the Eastern Arctic region. *Energeticheskaya politika*, 2021, no. 7, pp. 14—26. (In Russian).
3. Saneev B. G., Ivanova I. Yu., Korneev A. G. Assessment of electrical loads of potential projects for the development of mineral resources in the eastern regions of the Arctic zone of the Russian Federation. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2020, no. 1 (37), pp. 4—14. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-4-14. (In Russian).
4. 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 Rossiiskoi Federatsii (pri uchastii firmy “Integral”, Sankt-Peterburg), 1999, 53 p. (In Russian).
5. 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).
6. 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).
7. The method of calculating emissions of pollutants into the atmosphere from stationary diesel installations. M-vo prirod. resursov Rossiiskoi Federatsii; NII Atmosfera: Firma “Integral”. St. Petersburg, 2001, 15 p. (In Russian).
8. National pollutant inventory. Emission estimation technique manual for combustion in boilers. Version 3.6. Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. [S. l.], 2011, 55 p.
9. EEA Report No 13/2019 Technical guidance to prepare national emission inventories. The joint EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Available at: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emep-eaos-po-inventarizaciiyvybrosov-2019>.
10. Methodological guidelines and guidance of quantitative determination of volumes of greenhouse gas emissions by the organizations undertaking economic and other activities in the Russian Federation. Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia of 30.06.2015. Available at: <http://sro150.ru/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-panikovykh-gazov>. (In Russian).
11. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2, 2006, 47 pp. Available at: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf).
12. Davaahuu N., Potravnyi I. M., Miloslavskii V. G., Utkin I. I. Substantiation and mechanism of implementation of the coal gasification project in the Russian Arctic. *Ugol*, 2019, no. 9, pp. 88—93. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-88-93. (In Russian).
13. Maysyuk E. P., Ivanova I. Yu. Environmental assessment of different fuel types for energy production in the Arctic territories of the Far East. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2020, no. 1 (37), pp. 26—36. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-26-36. (In Russian).
14. On the Concept of development of geological exploration works for the creation of a fuel and energy



complex on the territory of the Taimyr (Dolgan-Nenets Autonomous Okrug). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/432848346>. (In Russian).

15. Vyalov V. I., Gurevich A. B., Volkova G. M., Skiba D. A., Shishov E. P., Chernyshev A. A. Coking coals of the Arctic zone of Russia. *Georesursy*, 2019, no. 21 (3), pp. 107—124. Available at: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.107-124>. (In Russian).

16. Markov A. G. Prospects for the use of coal in the northern part of the Taimyr basin. *Sed'maya nauchno-prakticheskaya shkola-konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov s mezhdunarodnym uchastiem "Geologiya, poiski i kompleksnaya otsenka mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh"*. Tezisy dokladov. Moscow, VIMS, 2017, pp. 75—76. (In Russian).

17. Qualitative characteristics of Russian coal products. *Informatsionno-spravochnoe izdanie*. Moscow, Rosinformgol', 2006, 258 p. (In Russian).

18. Purification of Emissions of Harmful (Polluting) Substances into the Air During Manufacturing Products (Goods), as well as During Conducting Work and the Providing Services at Large Enterprises. Information and Technical Reference on the Best Available Technologies (ITS 22-2016). Fed. agentstvo po tekhn. regulirovaniyu i metrologii. Byuro NDT. Moscow, 2016, 212 p. (In Russian).

19. Combustion of fuel in large installations for energy production. Information and Technical Guide to the Best Available Technologies (ITS 38-2017). Feder. agentstvo po tekhn. regulirovaniyu i metrologii. Byuro NDT. Moscow, 2017, 280 p. (In Russian).

20. Report on the sustainable development of the Norilsk Nickel Group of Companies for 2019. Available at: [https://www.nornickel.ru/files/ru/CSOpdf/NN2019\\_Digital.pdf](https://www.nornickel.ru/files/ru/CSOpdf/NN2019_Digital.pdf). (In Russian).

### Information about the authors

*Saneev, Boris Grigorievich*, Doctor of Engineering Science, Head of the “Complex Energy Problems and Regional Energy Policy” Research Area, Head of the Department, Professor, Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the RAS (130, Lermontov str., Irkutsk, Russia, 664033), e-mail: [saneev@isem.irk.ru](mailto:saneev@isem.irk.ru).

*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](mailto:maysyuk@isem.irk.ru).

*Ivanova, Irina Yur'evna*, PhD of Economy, Leading Researcher, Head, 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: [nord@isem.irk.ru](mailto:nord@isem.irk.ru).

### Bibliographic description of the article

*Saneev, B. G., Maysyuk, E. P., Ivanova, I. Yu.* Assessment of energy-related environmental impacts during the implementation of promising projects for the development of deposits in the Arctic territories of the Russian eastern regions. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2021, vol. 11, no. 4, pp. 466—480. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-4-466-480. (In Russian).

© Saneev B. G., Maysyuk E. P., Ivanova I. Yu., 2021