

# ЭКОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

А.В. ШЕПЕЛЕВА, к.т.н, СПБ ГУ

Широкий спектр загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих в воздушный бассейн от работающих на органическом топливе объектов ТЭК (в дальнейшем просто объектов ТЭК), создает трудности в оценке аэротехногенного воздействия этих объектов по полному списку ЗВ. Поэтому целесообразным является выделение для исследований приоритетных ЗВ. Высокая токсичность, широкое распространение в атмосфере, относительно длительные сроки пребывания в ней стали главными причинами выделения для исследований следующей группы приоритетных ЗВ: диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода, зола, содержащая тяжелые металлы. Кроме того, именно эти примеси имеют наибольший процент от объема валового выброса ЗВ объектами ТЭК.

В большинстве методов оценки аэротехногенного воздействия промышленных предприятий [3, 5, 9] используются показатели экологической опасности загрязняющих веществ, поступающих в воздушный бассейн. Наиболее распространенным способом определения таких показателей является способ "по отношению к базовому загрязняющему веществу", который применяется и в методологии экометрического анализа [2] для расчета индексов техногенного воздействия ЗВ.

Долгое время базовым веществом для оценки экологической опасности ЗВ служил оксид углерода, среднесуточная предельно допустимая концентрация для воздушной среды которого  $ПДК_{CC}^{ЗВ}$  составляла 1 мг/куб.м. В табл.1 представлены коэффициенты относительной опасности для воздушной среды некоторых загрязняющих веществ, оцененные по оксидуглеродной шкале.

**Таблица 1**  
**КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА, ОЦЕНЕННЫЕ ПО ОКСИДУГЛЕРОДНОЙ ШКАЛЕ [1]**

Загрязняющее вещество	Показатель относительной опасности
Оксид углерода	1,0
Сернистый ангидрид	16,5
Оксиды азота	41,1
Пятиокись ванадия	122,0
Твердые частицы (при сжигании мазутов и газов)	200,0

При изменении  $ПДК_{CC}^{ЗВ}$  оксида углерода [4] использование оксидуглеродной шкалы стало неэффективным. Поэтому, выбор в качестве базового ЗВ условного вещества, для которого  $ПДК_{CC}^{ЗВ} = 1$  мг/куб.м, позволит рассчитать индексы аэротехногенного воздействия выделенных загрязняющих веществ  $I_{ТВ_i}$  по формуле [2]:

$$I_{ТВ_i} = 1 \text{ мг / м}^3 \text{ / } ПДК_{CC_i}^{ЗВ} \quad (1)$$

где:  $ПДК_{CC}^{ЗВ}$  - среднесуточная предельно допустимая концентрация ЗВ для воздушной среды, мг/куб.м.

При таком сравнении индекс аэротехногенного воздействия загрязняющего вещества является безразмерной величиной, что определяет его использование в качестве характеристи-

ки экологической опасности ЗВ.

Подходы, основанные на применении в оценках аэротехногенного воздействия объектов ТЭК показателей экологической опасности ЗВ или индексов аэротехногенного воздействия ЗВ, имеют как положительные стороны, среди которых возможность использования законодательно утвержденных нормативов, так и отрицательные стороны, основанные на неадекватности современных санитарно-гигиенических норм ПДК целям оценки воздействия на окружающую среду.

Табл.2 отражает результаты расчетов индексов аэротехногенного воздействия приоритетных для объектов ТЭК загрязняющих веществ по утвержденным в перечне [4]  $ПДК_{CC}^{ЗВ}$ .

**Таблица 2**  
**РАСЧЕТ ИНДЕКСОВ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗВ**

Наименование вещества	Код вещества по перечню [4]	$ПДК_{CC}^{ЗВ}$ мг/куб.м	$I_{ТВ_i}$
Сернистый ангидрид	0301	0,05	20,00
Оксид углерода	0330	3,00	0,33
Двуокись азота	0337	0,04	25,00
Зола: угольная	0194	0,02	50,00
мазутная	2904	0,002	500,00
сланцевая	2903	0,1	10,00

Представленные в табл.2 величины индексов аэротехногенного воздействия золы углей, мазутов и сланцев определены по значениям  $ПДК_{СС}^{ЗВ}$ , обусловленной содержанием в золе определенного приоритетного вещества. Например, в золе мазута и угля, соответственно, содержанием оксида ванадия и окиси кальция определенной дисперсности.

Для расчетов обобщенных индексов аэротехногенного воздействия таких поликомпонентных загрязняющих веществ, как золы топлив, были приняты границы варьирования процентного содержания компонентов в золе, определенные экспериментальным путем [11] и нормативными документами [6]. Результаты расчетов обобщенных индексов аэротехногенного воздей-

ствия золы по средним показателям содержания ее компонентов и по их  $ПДК_{СС}^{ЗВ}$  по формуле [2]:

$$I_{MTe} = \sum_{i=1}^n p_i I_{Tei} \quad (2)$$

где:  $p_i$  - весовой коэффициент (доля) индивидуального ЗВ в поликомпонентном техногенном потоке, представлены в табл.3.

Индексы аэротехногенного воздействия отдельных ЗВ образуют качественные аэротехногенные спектры поликомпонентных потоков загрязняющих веществ, генерирующихся при сжигании различных видов органического топлива: угля, мазута, сланцев, торфа, природного газа. Численная интерпретация этих спектров представлена табл.4, графическая интерпретация - на рис.1.

**Таблица 3**  
**РАСЧЕТ ОБОБЩЕННЫХ ИНДЕКСОВ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗОЛЫ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ**

Вид топлива	Наименование топлива	Марка топлива	$I_{ТВЗ}$
Мазут	Малосернистый	М-100	91,0
	Сернистый	М-100	215,0
Уголь	Высокосернистый	М-100	313,0
	Донецкие угли	АШ	34,80
	Донецкие угли	ГСШ, Г, Д	36,77
	Подмосковные угли		36,74
	Львовско-Волынские угли		34,49
	Кузнецкий уголь		37,92
	Экибастузский уголь		39,87
	Бородинские угли		30,56
	Назаровские угли		22,85
	Березовские угли		21,58
Сланцы	Нерюнгринские угли		36,84
	Ангренские угли		30,99
Торф	Челябинские угли		37,73
	Эстонские		21,90
			34,13

**Таблица 4**  
**ЧИСЛЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ СПЕКТРОВ ПОТОКОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ**

Топливо	Качественный аэротехногенный спектр			
	зола	диоксид серы	оксид углерода	диоксид азота
Уголь (Кузнецкий)	37,92	20,00	0,33	25,00
Мазут (сернистый)	215,00	20,00	0,33	25,00
Сланцы	21,90	20,00	0,33	25,00
Торф	34,13	20,00	0,33	25,00
Природный газ	-	-	0,33	25,00

Для объектов ТЭК основной эколого-экономической проблемой является выбор топлива. Возможность выбора обеспечивается значительным числом созданных во многих регионах России и странах СНГ надежных топливно-энергетических баз с качественно различным добываемым топливом. Критерием выбора топлива для объектов ТЭК является максимальный эколого-экономический эффект, заключающийся в экономически обоснованном использовании топлив в технологическом процессе с минимальным ущербом для окружающей природной среды. Особенно остро проблема выбора по указанному критерию стоит для тех промышленных регионов, которые характеризуются высокой концентрацией объектов ТЭК, работающих на импортируемом топливе, но при этом обеспечивающих не только свои потребности в энергии, но и экспортирующих ее в другие регионы и зарубежные страны. Важность эколого-экономического подхода к выбору энергоресурсов определяется произошедшими в экономике и энергетическом комплексе нашей страны и ее регионах процессами трансформации собственности, созданием новых производственно-организационных структур в энергетике, а также появлением рынков энергоресурсов и энергии.

Одним из традиционных условий обоснования экологической целесообразности и экономической эффективности использования топлива на объектах ТЭК является анализ его технических характеристик - зольности, сернистости, влажности и теплоты сгорания (табл.5).

Эти характеристики лежат в основе определения потенциальных аэротехногенных масс ЗВ на единицу расхода топлива в технологическом процессе объектов ТЭК (на тыс.куб.м - для природного газа, на тонну - для остальных рассматриваемых топлив), выполненного по утвержденным методикам количественных расчетов выбросов загрязняющих веществ [7, 8, 10] без учета степе-

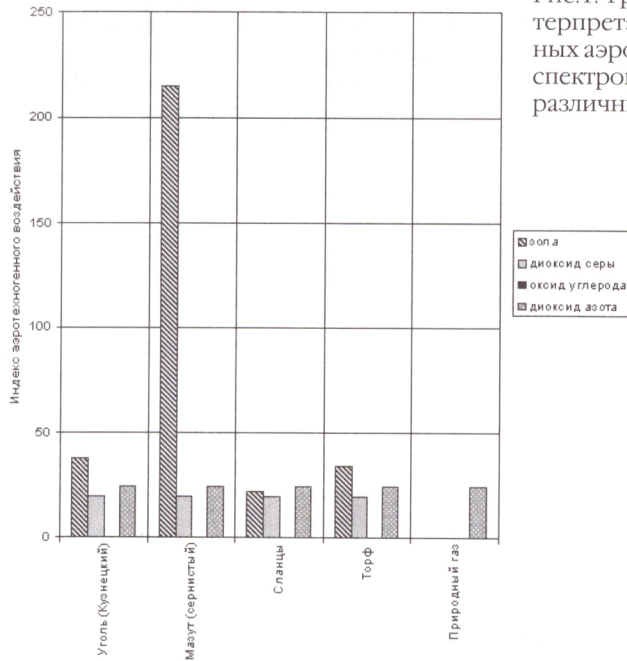


Рис.1. Графическая интерпретация качественных аэротехногенных спектров потоков ЗВ для различных топлив

**Таблица 5**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВ**

Наименование топлива	$Q_{p,р}^n$ МДж/кг, МДж/куб.м	$S^p$ %	$A^p$ %	$W^p$ %
Подмосковный уголь	9,88	4,2	39,0	32,0
Печорский уголь	22,02	0,9	30,0	5,5
Кузнецкий уголь	24,36	0,4	13,5	10,0
Канско-ачинский уголь	15,7	0,2	4,7	33,0
Донецкий уголь	18,5	3,5	28,0	13,0
Мазут сернистый (М-100)	39,85	2,0	0,15	-
Мазут высокосернистый (М-100)	38,89	3,5	0,15	-
Сланцы	9,5	1,5	54,2	11,0
Торф	8,92	0,2	11,3	48,0
Природный газ	37,43	-	-	-

**Таблица 6**  
**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ АЭРОТЕХНОГЕННЫЕ МАССЫ ЗВ НА ЕДИНИЦУ РАСХОДА ТОПЛИВА**

Наименование топлива	Потенциальные аэротехногенные массы ЗВ, тонн/тыс.куб.м, тонн/т				
	$M_3$	$M_{SO_2}$	$M_{CO}$	$M_{NO_2}$	$M_o$
Подмосковный уголь	0,1014	0,0756	0,0066	0,0020	0,1855
Печорский уголь	0,0900	0,0162	0,0146	0,0044	0,1252
Кузнецкий уголь	0,0351	0,0072	0,0161	0,0049	0,0633
Канско-ачинский уголь	0,0122	0,0020	0,0104	0,0031	0,0277
Донецкий уголь	0,0980	0,0630	0,0174	0,0037	0,1821
Мазут сернистый (М-100)	0,0015	0,0392	0,0129	0,0028	0,0564
Мазут высокосернистый (М-100)	0,0015	0,0686	0,0126	0,0027	0,0854
Сланцы	0,1355	0,0060	0,0099	0,0019	0,1533
Торф	0,0215	0,0034	0,0175	0,0045	0,0468
Природный газ	0,0000	0,0000	0,0094	0,0026	0,0120

$M_o$  - потенциальная аэротехногенная масса потока ЗВ на единицу расхода топлива

ни снижения генерации и эмиссии ЗВ в результате реализации мероприятий по снижению аэротехногенного воздействия (табл.6).

Потенциальные аэротехногенные массы ЗВ и качественные аэротехногенные спектры потоков загрязняющих веществ топлив являются необходимыми параметрами для аналитического расчета по формулам (3)-(5) [2] следующих экометрических показателей аэротехногенного воздействия энергоресурсов: во-первых, количественных спектров аэротехногенных чисел отдельных ЗВ и обобщенных аэротехногенных чисел всего поликомпонентного потока ЗВ на единицу расхода топлива объектами ТЭК (табл.7), а также приведенных к единицам тепловой и электрической энергии величин обобщенных показателей (табл.8), во-вторых, качественных характеристик топлив в виде обобщенных индексов аэротехногенного воздействия потоков ЗВ (табл.8).

**Техногенное число ( $T_i$ )** - количественный показатель относительного уровня экологической опасности ЗВ, равный производству физической массы ( $M_{Ti}$ ) индивидуального ЗВ техногенного происхождения на его индекс техногенного воздействия:

$$T_i = M_{Ti} I_{TVi} \quad (3)$$

**Обобщенное техногенное число ( $T_o$ )** - количественный показатель для веществ сложного состава, равный алгебраической сумме техногенных чисел индивидуальных веществ:

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_i \quad (4)$$

или

$$T_o = \sum_{i=1}^n M_{Ti} I_{TVi} \quad (5)$$

Для расчета приведенных к единице тепловой (ккал) и электрической (кВт-ч) энергии обобщенных аэротехногенных чисел потоков ЗВ топлив используются следующие соотношения:

**Таблица 7**  
**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ СПЕКТРЫ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ЧИСЕЛ ОТДЕЛЬНЫХ ЗВ И ОБОБЩЕННЫЕ АЭРОТЕХНОГЕННЫЕ ЧИСЛА ВСЕГО ПОЛИКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА ЗВ, РАССЧИТАННЫЕ НА ЕДИНИЦУ РАСХОДА ТОПЛИВА**

Наименование топлива	$T_z$ Mtem/т, Mtem/ тыс.куб.м	$T_{SO_2}$ Mtem/т, Mtem/ тыс.куб.м	$T_{CO}$ Mtem/т, Mtem/ тыс.куб.м	$T_{NO_2}$ Mtem/т, Mtem/ тыс.куб.м	$T_o$ Mtem/т, Mtem/ тыс.куб.м
Подмосковный уголь	3,7254	1,5120	0,0022	0,0494	5,2890
чорский уголь	3,0717	0,3240	0,0048	0,1101	3,5106
Кузнецкий уголь	1,3310	0,1440	0,0053	0,1218	1,6021
Канско-ачинский уголь	0,4171	0,0400	0,0034	0,0785	0,5390
Донецкий уголь	3,6035	1,2600	0,0057	0,0925	4,9617
Мазут сернистый	0,3225	0,7840	0,0043	0,0697	1,1805
Мазут высокосернистый	0,4695	1,3720	0,0042	0,0681	1,9137
Сланцы	2,9675	0,1200	0,0033	0,0475	3,1382
Торф	0,7328	0,0680	0,0058	0,1115	0,9180
Природный газ	0,0000	0,0000	0,0031	0,0655	0,0686

Таким образом, для обоснования экологической целесообразности и экономической эффективности использования топлива различные энергоресурсы могут сравниваться по экометрическим показателям аэротехногенного воздействия. В первых, по качественному показателю - обобщенному индексу аэротехногенного воздействия потока ЗВ (рис.2), а, во-вторых, по количественным показателям: обобщенному

**Таблица 8**  
**ПРИВЕДЕННЫЕ К ЕДИНИЦАМ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБОБЩЕННЫЕ АЭРОТЕХНОГЕННЫЕ ЧИСЛА И ОБОБЩЕННЫЕ ИНДЕКСЫ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ ЗВ ТОПЛИВ**

Наименование топлива	$I_{отв}$	$(T_o)_T$ tem ккал	$(T_o)_{ээ}$ tem кВт-ч	Количество топлива (г) с потенциалом 1 tem
Подмосковный уголь	28,51	2,9709	5839,902	0,1891
Печорский уголь	28,03	0,8848	1739,228	0,2848
Кузнецкий уголь	25,32	0,3650	717,470	0,6242
Канско-ачинский уголь	19,43	0,1905	374,519	1,8553
Донецкий уголь	27,25	1,4884	2925,817	0,2015
Мазут сернистый	20,94	0,1548	288,227	0,8471
Мазут высокосернистый	22,41	0,2571	478,783	0,5225
Сланцы	20,47	1,7047	3214,115	0,3187
Торф	19,61	0,6568	1277,619	1,0893
Природный газ	5,73	0,0095	16,915	14,5793

аэротехногенному числу потока ЗВ, характеризующему аэротехногенный потенциал единицы расхода топлива на объектах ТЭК, и приведенным обобщенным аэротехногенным числам потока ЗВ. Результаты этого сравнения отражены на рис.3-5.

В рамках данного исследования на основе технических характеристик топлив месторождений и бассейнов России и стран СНГ, предложенных в работе [8], была создана база данных экометрических показателей аэротехногенного воздействия различных топлив на единицу их расхода на объектах ТЭК, позволяющая перейти к экометрической оценке аэротехногенного воздействия объектов ТЭК по всей технологической цепочке.

$$(T_o)_T = \frac{T_o}{Z_T}, \quad (6)$$

$$(T_o)_{ээ} = \frac{T_o}{Z_{ээ}}, \quad (7)$$

где:  $T_o$  - величина обобщенного аэротехногенного числа потока ЗВ на единицу расхода топлива, Mtem/т, Mtem/тыс.куб.м;  $Z$  - количество полученной полезной энергии (тепловой - Мкал/т, Мкал/тыс.куб.м. или электрической - млн.кВт-ч/т, млн.кВт-ч/тыс.куб.м), которое определяется по формулам:

$$Z_T = Q_p^H \zeta_T, \quad (8)$$

$$Z_{ээ} = Q_p^H \zeta_{ээ}, \quad (9)$$

где:  $\zeta$  - соответствующие коэффициенты полезного действия (табл.9) [11].

**Таблица 9**  
**КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ВЫРАБОТКЕ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА**

$\zeta_T$			$\zeta_{ээ}$		
Уголь	Мазут	Газ	Уголь	Мазут	Газ
0,755	0,8	0,81	0,33	0,37	0,39

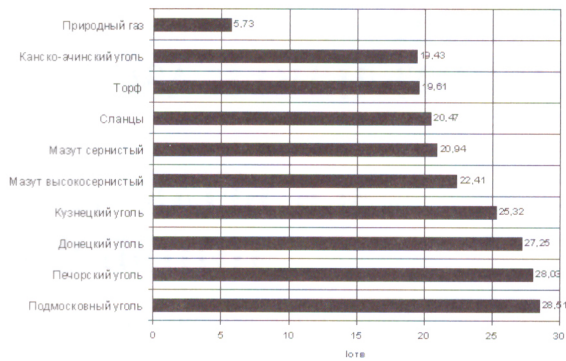


Рис.2. Сравнение различных топлив по величине обобщенного индекса аэротехногенного воздействия потока ЗВ

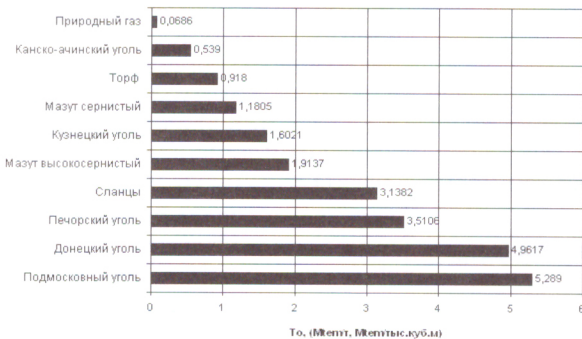


Рис.3. Сравнение различных топлив по величине аэротехногенного потенциала (на единицу расхода)

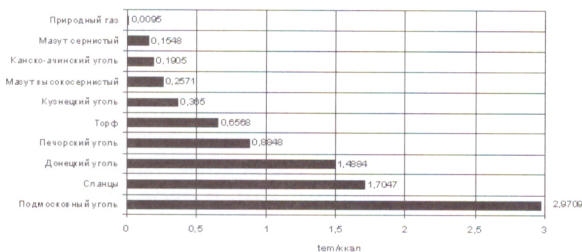


Рис.4. Сравнение различных топлив по величине приведенного к единице тепла (ккал) обобщенного аэротехногенного числа потока ЗВ

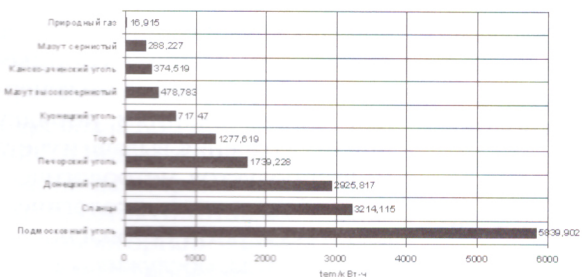


Рис.5. Сравнение различных топлив по величине приведенного к единице электроэнергии (кВт-ч) обобщенного аэротехногенного числа потока ЗВ

## ЛИТЕРАТУРА

1. Временная типовая методика определения экологической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. - М.: Экономика, 1983. - 79 с.
2. Донченко В.К. Системно-аналитический метод эколого-экономической оценки и прогнозирования потенциальной опасности техногенных воздействий на природную среду (экометрия) // Инженерная экология. - 1996. - № 3. - С. 45-61.
3. Оценка антропогенного загрязнения окружающей среды промышленных центров / Под ред. В.Е.Маслова и В.М.Шмандия. - Киев: О-во "Знание" УССР: РД-ЭНТП, 1990. - 15 с.
4. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. - Л.: Отдел контроля атмосферы ВНИИприрода, 1990. - 48 с.
5. Полищук В.С., Шмандий В.М., Шило В.В. Оценка загрязнения окружающей среды с помощью коэффициентов экологической безопасности вредных веществ и физических воздействий // Тез. Всесоюз. научно-техн. конф. "Актуальные вопросы охраны окружающей среды от антропогенного воздействия". - Севастополь, 1989. - С.9-10.
6. РД 34.09.602 - 88 "Зола - унос тепловых электростанций. Нормативные характеристики". Срок действия с 01.04.89 до 01.04.99. - М.: ВТИ ОНТИ, 1988. - 17 с.
7. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 183 с.
8. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. - М.: Химия, 1991. - 368 с.
9. Шило В.В., Быков А.А., Шмандий В.М., Гальчук Н.Г. Сравнительный анализ воздействия промышленных предприятий региона на окружающую среду. - М.: Гидрометеиздат, 1988. - 7 с.
10. Электроэнергетика и природа. Экологические проблемы развития электроэнергетики / Под ред. Г.Н.Лялика и А.Ш.Резникова. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 350 с.
11. Энергетическая политика, рекомендуемая для Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Проект ТАСIS/ERU001/92. - СПб.: Препринт НИЦЭБ РАН, 1995.