

УДК 620.92

А.Г. Гутаев, Г.И. Сидоренко

С.-Петербургский государственный политехнический университет

Гутаев Алексей Геннадьевич родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант кафедры возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики С.-Петербургского государственного политехнического университета. Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, биоэнергетика, оценка воздействий биоэнергетических технологий на окружающую среду, оптимизация биоэнергетических систем.

E-mail: gutaev@cef.spbstu.ru



Сидоренко Геннадий Иванович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Ленинградский политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики С.-Петербургского государственного политехнического университета. Имеет около 120 печатных работ в области моделирования и оптимизации в энергетике, возобновляемых источников энергии, в том числе биоэнергетических.

E-mail: sidorenko@cef.spbstu.ru



АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И РОЛЬ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА*

Получены данные о прямых и косвенных потоках углерода в топливно-энергетическом комплексе Карелии; оценены потоки углерода в лесном комплексе и сельском хозяйстве и их антропогенная составляющая; показана связь потоков углерода с различными источниками образования энергетической биомассы.

Ключевые слова: Карелия, углеродный баланс, топливно-энергетический комплекс, биомасса, древесное топливо.

Хозяйственная деятельность человека оказывает влияние на газовый баланс атмосферы Земли. При этом происходит безвозвратное изъятие кислорода, расходуемого на сжигание топлива и другие окислительные процессы, и выброс в атмосферу углекислого газа. Другие продукты сгорания либо экологически безопасны (водяной пар), либо не входят в

альный газовый баланс атмосферы.
3 В прошлом веке концентрация CO_2 в атмосфере составляла около 270 ppm (частей на миллион) или 0,027 %, в настоящее время она достигла 365 ppm. По прогнозам к 2100 г. этот показатель составит 700 ppm.

Увеличение содержания CO_2 в атмосфере вызвано сжиганием ископаемого топлива, в основном углеводородного, и в меньшей степени другими факторами [13]. В результате проведенных исследований [13] выявлены глобальные антропогенные выбросы углерода в 1980 – 1989 и 1989 – 1998 гг.: в среднем соответственно 6,7 и 7,9 Гт С в год или почти 1,4 т С на душу населения. Выбросы в промышленно развитых странах

* Работа поддержана проектом РФФИ 08-08-98803-Р-север А.

значительно превышают средний уровень (например, в Японии – 2,54, Германии – 2,87, Финляндии – 3,15, США – 5,37 т С в год на душу населения) [12]. Выбросы в развивающихся странах существенно отличаются; отмечено, что бóльшие приходится на те страны, где имеют место крупномасштабные лесозаготовки.

Согласно решению Киотской международной конференции ООН по изменению климата, для России установлена квота на выбросы «парниковых газов» на уровне 1990 г. Предполагается, что это положение будет распространяться и на субъекты РФ. Анализ углеродного баланса Карелии и оценка влияния на него топливно-энергетического комплекса были выполнены нами на основе работ [1–11, 14–17] для 1990 г. (Следует отметить, что максимальный расход топлива и энергии в Карелии приходился именно на 1990 г.).

Впервые оценка углеродного баланса для Карелии была проведена М.Ф. Макаревичем в 1991 г. на основе данных 1985 и 1988 гг. [5], в 1999 г. – при разработке «Стратегии развития энергетики Карелии» [2], более детально – в работе [16]. Выделим основные недостатки предшествовавших работ:

при оценке косвенных выбросов углекислого газа в атмосферу [5] предполагалось, что только часть электроэнергии, поступающей из энергосистем соседних регионов, производится на тепловых станциях;

объем потребления ТЭР для 1988 г. оценивался по приближенному балансу, составленному на основании данных 1985 и 1988 гг.;

элементный состав энергоносителей для Карелии оценен в [5] очень приближенно;

выделение метана болотными биогеоценозами не было пересчитано в эквивалент CO_2 ;

не приведен баланс углерода по лесопромышленному комплексу (ЛПК);

баланс углерода в лесных и болотных экосистемах выполнен по материалам учета лесного фонда на 01.01.1988;

не учтены самозаготовка дров населением, влияние пожаров на выбросы углерода, аэробное разложение отходов, влияние осушения болот на продуктивность прилегающих древостоев, депонирование древесных продуктов и отходов на свалках с последующим выделением свалочного газа, воздействие транзитных потоков автомобильного транспорта через Карелию, прямые и косвенные потоки углерода в других секторах экономики (строительство, сельское хозяйство и т.д.) и потоки углерода, образующиеся в результате жизнедеятельности населения.

В данной статье оценены прямые и косвенные потоки углерода в топливно-энергетическом и лесном комплексах Республики Карелия, составлен баланс углерода в лесных и болотных биогеоценозах и суммарный углеродный баланс, а также определены перспективы развития биоэнергетики в республике.

Вклад топливно-энергетического комплекса в углеродный баланс

Республика Карелия удалена от основных топливных баз страны, поэтому большая часть топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) поступает из соседних областей (80...85 % топлива и 43...56 % электроэнергии). Основным потребителем ТЭР является промышленность, на долю которой приходится 82 % топлива, около 70 % электрической и 54...60 % тепловой энергии. Специфика экономики (наличие энергоемких отраслей промышленности) и достаточно суровый климат региона предопределили повышенное потребление ископаемого топлива. Прогнозируемый рост цен на энергоносители приведет к увеличению затрат на топливо и энергию, поступающие в Карелию из других регионов России. Снижение потребления топлива и энергии может быть достигнуто за счет внедрения энергосберегающих технологий и более широкого вовлечения в топливно-энергетический баланс местных возобновляемых энергетических ресурсов, в том числе более широкое использование биомассы [2, 17].

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) Карелии представлен каскадами гидроэлектростанций (мощность 632,8 МВт), тепловыми электростанциями (478 МВтэ) и многочисленными котельными [2]. Доля централизованного теплоснабжения составляет около 70 %. В табл. 1 представлена структура потребления ТЭР в республике в 1990 и 2000 гг.

Поэлементный состав используемых в 1990 г. топлив приведен на рис. 1, выбросы углерода от сжигания этих видов топлива в 1988, 1990 и 2000 гг. – в табл. 2.

М.Ф. Макаревский [5] оценил выбросы углерода от сжигания энергоносителей по приближенному балансу 1988 г., они составили около 3,43 млн т в год. В 1990 г. выбросы углерода в атмосферу от сжигания топлива в ТЭК Карелии составили 4,36 млн т, в том числе от ископаемого топлива – 3,50 млн т, соответственно в 2000 г. – 2,00 и 1,47 млн т. Нами принято 4,36 млн т.

В баланс ТЭК, кроме углерода, получаемого при сжигании топлива непосредственно на территории республики, необходимо включить электроэнергию, выработанную на тепловых электростанциях других областей. В 1990 г. поступление из Кольской, Ленинградской и Вологодской энергосистем составило 4928 ГВт·ч (соответственно 2900, 2009 и 19 ГВт·ч).

Таблица 1

Структура потребления ТЭР в Республике Карелия

3*

ид топлива или энергии	1990 г.		2000 г.	
	тыс. т у.т.	%	тыс. т у.т.	%
Бензины	282,0	3,10	226,7	4,47
Топливо дизельное	837,0	9,10	487,2	9,60
Мазут топочный	3379,0	36,90	1170,1	23,07
Газ природный	–	–	414,1	8,60
Газ сжиженный	156,0	1,70	57,9	1,14
Уголь	901,0	9,90	528,4	10,42
Торф	–	–	0,4	0,01
Дрова	486,0	5,30	249,9	4,93
Прочие (щелок, древесные отходы)	830,0	9,10	284,4	5,61

<i>Итого</i>	6871,0	75,10	3419,2	67,41
Общее потребление электроэнергии	2283,0	24,90	1653,1	32,59
Всего	9154,0	100	5072,3	100

По данным [5], полученным на основе показателей 1988 г., всего поступило 4411 ГВт·ч, в том числе из Кольской энергосистемы – 3770 ГВт·ч, из Ленинградской – 641 ГВт·ч. Разница в объемах поступившей электроэнергии 517 ГВт·ч.

В оценке косвенных выбросов существует несколько подходов. Рассмотрим два крайних.

В первом (оптимистическом) подходе сделаны следующие предположения [5]:

1) доля электроэнергии, вырабатываемой на тепловых электростанциях Кольской и Ленинградской энергосистем, равна 4,2 и 41,5 % соответственно, т. е. общее поступление в Карелию электроэнергии с тепловых электростанций составляет $158,3 + 266,0 = 424,3$ тыс. кВт·ч [5];

2) нормативный расход топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии на тепловых станциях составляет 304 г условного топлива (у.т.).

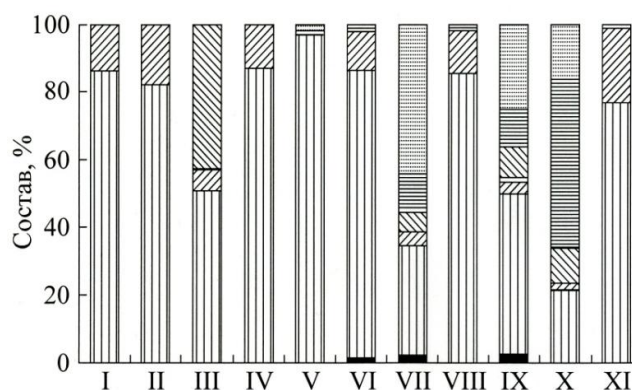


Рис. 1. Элементный состав топлива: – зольность, – влажность, – кислород, – азот, – водород, – углерод, – сера; I – бензин, II – газ сжиженный, III – дрова и древесные отходы (на сухую массу), IV – керосин, V – кокс, VI – мазут, VII – сланцы горючие, VIII – топливо жидкое (дизельное, газотурбинное, моторное), IX – уголь, X – щелок сульфатный, XI – природный газ

при использовании различных видов топлива

Топливо	Количество использованного топлива, тыс. т			Выбросы углерода, тыс. т		
	1988 г.*	1990 г.	2000 г.	1988 г.*	1990 г.	2000 г.
Бензины	137,0	189,0	81,2	117,8	162,5	69,8
Газ природный**	0	0	362,2	0	0	209,3
Газ сжиженный	43,3	39,8	37,5	35,5	32,9	31,0
Мазут топочный	1650,4	2466,0	778,6	1394,6	2099,8	663,0
Топливо дизельное	573,4	577,0	260,7	487,4	500,0	228,5
Уголь	1053,0	1315,0	553,5	506,5	637,4	268,3
Древесное топливо	2242,0	2146,0	884,8	538,1	515,1	212,4

Щелок	1471,0	1594,0	1496,2	313,3	342,2	320,3
Прочие	51,1	76,0	2,7	35,0	69,9	2,4
<i>Итого</i>	–	–	–	3428,2	4359,0	2005,0

* М.Ф. Макаревский объем потребления топлива в 1988 г. оценил по приближенному балансу [5], составленному на основании данных 1985 и 1989 гг.

** Газ природный – в млн метрах кубических, древесное топливо – в тыс. пл. метрах кубических.

Принимая, что его элементный состав аналогичен донецкому углю [5], получим объем выбросов углерода в атмосферу при производстве на тепловых электростанциях поставляемой в Карелию электроэнергии – 66,0 тыс. т.

Следуя этим предположениям, но используя данные 1990 г., получим объем поступающей в Карелию электроэнергии, произведенной на тепловых электростанциях: $121,8 + 833,7 = 955,5$ ГВт·ч в год. Косвенные выбросы углерода составят примерно 150,2 тыс. т.

Второй подход (пессимистический) изложен в работе [16]. Оценка косвенных выбросов получена в предположении, что вся электроэнергия выработана на «замыкающей» угольной электростанции с расходом 1,24 т $\text{CO}_2/\text{МВт}\cdot\text{ч}$ [14]. В этом случае выброс углекислого газа составляет $1,24 \cdot 4,928$ млн т $\text{CO}_2 = 6,11$ млн т CO_2 или 1667,0 тыс. т С.

Таким образом, косвенные выбросы могут варьировать от 150,2 до 1667,0 тыс. т С. Они должны быть добавлены к прямым выбросам. Следовательно, выбросы от ТЭК Карелии в 1990 г. составляют $4359,9 + (150,2 \dots 1667,0) = 4510,1 \dots 6026,9$ тыс. т С.

Оценка баланса углерода в лесном комплексе

В табл. 3 приведены данные об относительной массе абсолютно сухих фракций спелых и перестойных древостоев, идущих в рубку главного пользования в Карелии. Эта таблица построена на основе работ [4, 6, 8, 17 и др.]. По данным Госкомстата [7] в 1990 г. в Карелии с лесосек было вывезено 10766 тыс. пл. м^3 древесины, удельная сухая биомасса при вывозке бревен с корой составила $0,436 + 0,044 = 0,480$ т/пл. м^3 , в отходах остается $0,632 - 0,480 = 0,152$ т/пл. м^3 (табл. 4).

Таблица 3

Удельная масса абсолютно сухих фракций спелых и перестойных древостоев, отнесенная к 1 пл. м^3 стволовой древесины (т/пл. м^3)

Порода	Стволовая древесина	Кора ствола	Хвоя и листва	Ветви с корой	Корни с корой
Сосняки	0,439	0,035	0,011	0,033	0,077
Ельники	0,410	0,050	0,026	0,046	0,122
Березняки	0,499	0,084	0,017	0,090	0,084
Средневзвешенное	0,436	0,044	0,016	0,043	0,092

Таблица 4

Удельная масса абсолютно сухих фракций биоценоза, отнесенная к 1 пл. м³ стволовой древесины (т/пл. м³)

Порода	Объем, %	Биомасса биоценоза*	Фитомасса древостоя	Сухостой и валежник	Напочвен- ный покров
Сосняки	58,3	0,678	0,596	0,064	0,018
Ельники	31,9	0,692	0,654	0,026	0,012
Березняки	8,8	0,774	0,774
Средневзвешенное	99,0	0,692	0,632	0,046	0,014

* Расхождение в последнем знаке вызвано округлением.

Рассчитаем количество углерода в вывезенной с лесосеки стволовой древесине: $C_{ст} = 10766 \cdot 0,480 \cdot 0,504 = 2605,0$ тыс. т С, в оставшихся лесосечных отходах $C_{л.о} = 10766 \cdot 0,152 \cdot 0,504 = 825,0$ тыс. т С. Потери при вывозке стволовой древесины $C_{л.п} = 2605 \cdot 6/100 = 156,0$ тыс. т С, что составит 6 %. С учетом потерь в лесосечных отходах осталось лежать $825,0 + 156,0 = 981,0$ тыс. т С. Содержание углерода в вырубленной биомассе составит $C_{в.б} = C_{ст} + C_{л.о} = 2605,0 + 825,0 = 3430,0$ тыс. т С. Объем углерода, поступивший в лесопромышленный комплекс для переработки, оценивается по следующей формуле:

$$C_{ЛПК} = C_{ст} - C_{др} - C_{л.п} - C_{и.д} - C_{э.д}, \quad (1)$$

где $C_{др}$ – содержание углерода в круглом лесоматериале, который используется в других секторах экономики (не в лесном комплексе), дрова и т.д.;

$C_{и.д}$ – содержание углерода в круглом лесоматериале, поступившем из других регионов в Карелию, $C_{и.д} = 0$;

$C_{э.д}$ – содержание углерода в круглом лесоматериале, который отправляется в другие регионы (субъекты РФ, Финляндия и др.), $C_{э.д} = 180,9$ тыс. т С.

Согласно [7], деловой древесины было заготовлено 9969 тыс. пл. м³. Соответственно, объем неделовой древесины равен 797 тыс. пл. м³ или 193,0 тыс. т С. На топливные и нетопливные нужды было израсходовано: дров для отопления – 486,0 тыс. т у.т., древесных отходов – 527,0 тыс. т у.т. [3, 16] или 3808 тыс. пл. м³. Источник [2] отмечает, что на нетопливные нужды пошло 442 тыс. т у.т. или 1662 тыс. пл. м³. Из них дрова для топливных нужд – 1606 тыс. пл. м³, древесные отходы – 540 тыс. пл. м³. Таким образом, в топках и котлах было сожжено $3808 - 1662 = 2146$ тыс. пл. м³ дров и древесных отходов, что дало 515,1 тыс. т выбросов углерода, в содорегенерационных котлах ЦБК – 1594 тыс. т черных щелоков с выбросом 342,2 тыс. т С [2] (см. табл. 2).

Из вывезенной древесины потреблено в круглом виде 2574,8 тыс. пл. м³. В том числе в Карелии использовано 1606,0 тыс. пл. м³ топливных дров (учтены при оценке выбросов от ТЭК) и 221,0 тыс. пл. м³ дров для нетопливных нужд, а также вывезено за пределы республики 747,8 тыс. пл. м³. Соответствующее количество углерода в лесосечных отходах, приходящееся

на баланс Карелии, составило $1827 \cdot 0,152 \cdot 0,504 = 140,0$ тыс. т С, на балансы потребителей в других областях и за рубежом – $7470,8 \cdot 0,152 \cdot 0,504 = 57,3$ тыс. т С. Оценка $C_{др}$ проведена на основе объема используемых в Карелии дров: $C_{др} = 1606 \cdot 0,480 \cdot 0,504 = 388,5$ тыс. т С. Согласно (1), на переработку в лесной сектор поступило $C_{лпк} = 2605 - 388,5 - 156,0 + 0 - 180,9 = 1880,0$ тыс. т С или 7766 тыс. пл. м³. Этот объем углерода в биомассе переходит в продукцию $C_{п}$, выделяется в атмосферу при сжигании $C_{со}$, выделяется в атмосферу при аэробном разложении отходов $C_{р.о}$, депонируется на свалках древесных отходов $C_{д.о}$. Из этого объема надо вычесть углерод, получаемый при рециклинге бумаги $C_{р.б}$. Величина $C_{п} = 1451,0$ тыс. т С определяется на основе объемов производства продукции лесного комплекса Карелии (табл. 5 [8, 14, 17]). Расход углерода на производство энергии от сжигания черных щелоков и древесных отходов $C_{со} = 540 \cdot 0,48 \cdot 0,504 + 342,2 = 472,8$ тыс. т С.

Таблица 5

**Объемы производства и содержание углерода
в продукции лесного комплекса (1990 г.)**

Продукция лесного комплекса	Объем производства / вывоза	Содержание углерода на производство/вывоз, тыс. т
Импорт / экспорт круглого леса, тыс. пл. м ³	0 / 747,8	0 / 180,9
Пиломатериалы, тыс. пл. м ³	2004 / 1100	484,8 / 266,1
ДВП, млн. усл. м ² (тыс. м ³)	16,2 (48,6) / -(38,2)	23,0 / 18,1
Целлюлоза, тыс. т	765,7 / 123,0	338,4 / 54,4
Бумага, тыс. т	1220 / 880,1	494,1 / 356,4
Фанера, тыс. м ³	28,1 / 21,4	8,4 / 6,4
Картон, тыс. т	53,1 / 0	21,5 / 0
Мешки бумажные, млн шт.	983,8 / 738,0	80,6 / 60,6
<i>Итого</i>	–	1450,8 / 762,0*

* По данным [5] за 1988 г. содержание углерода на производство / вывоз составило 1247,4/866,0 тыс. т.

Всего в конечной продукции лесного комплекса содержится 1450,8 тыс. т С и вывозится за пределы республики 762,0 тыс. т С или с учетом круглой древесины $762,0 + 180,9 = 942,9$ тыс. т С. Из баланса Карелии также необходимо исключить углерод в отходах лесозаготовок и деревопереработки, которые образуются при производстве вывозимой за пределы Карелии продукции. На основании [16] оценим приблизительно объемы углерода, высвобождающегося при аэробном разложении отходов и депонируемого на свалках: $C_{р.о} = 0,115 \cdot C_{п} = 166,8$ тыс. т С и $C_{д.о} = 0,032 \cdot C_{п} = 46,4$ тыс. т С.

Из-за отсутствия информации по рециклингу бумаги примем $C_{р.б} = 0$. Тогда баланс углерода в лесном комплексе

$$C_{лпк} = C_{п} + C_{со} + C_{р.о} + C_{д.о} - C_{р.б}. \quad (2)$$

Разница между (1) и (2) составляет 257,0 тыс. т. С (7 %) и показывает погрешность наших расчетов.

Выбросы углерода лесным комплексом через потребляемую в республике продукцию лесного комплекса и приходящиеся на ее долю отходы составляют $688,8 + 156,3 + 140,3 + 49,4 + 166,8 + 46,4 + 244,0 = 1492,0$ тыс. т. С. На рис. 2 представлена схема потоков углерода в лесном комплексе.

*Вклад сельского хозяйства и жизнедеятельности населения
в баланс углерода*

По статистическим данным за 1988 г. суммарный годовой объем отходов животноводства в Карелии составлял 876,0 тыс. т: от крупного рогатого скота – 648,2 тыс. т, от свиней – 75,9 тыс. т, от птицы – 131,0 тыс. т, от зверей – 20,5 тыс. т. Основные объемы отходов приходились на южные районы Карелии – Олонецкий, Прионежский, Сортавальский и Лахденпохский.

Примем следующий процентный состав продуктов разложения отходов животноводства: метан – 65, углекислый газ – 30, др. газы – 5. Коэффициент приведения объема выбросов метана к углекислому газу $K(\text{CH}_4)_{\text{CO}_2} = 21$. При таком процентном соотношении продуктов разложения найдем объемы выбросов парниковых газов животноводческими хозяйствами: углекислый газ – $Q_{\text{CO}_2} = 47,6$ тыс. т, метан – $Q_{\text{CH}_4} = 103,2$ тыс. т. Полный эквивалентный выход углерода из отходов животноводства

$$C_{\text{ж.э}} = \frac{12}{44} (47,6 + 21 \cdot 103,2) = 604,0 \text{ тыс. т.}$$

Значительное снижение выбросов углерода в животноводстве возможно за счет сбора отходов и энергетического использования биогаза:

$$C_{\text{ж.э}} = \frac{12}{44} 47,6 = 13,0 \text{ тыс. т.}$$

При этом заключенная в выделенном объеме

$$\text{метана энергия } E_{\text{CH}_4} = \frac{103,2 \cdot 10^6 \cdot 49,7 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^9} = 1221,2 \text{ тыс. Гкал}$$

позволит заместить в ТЭЖ 174,5 тыс. т у.т. (углерод от сжигания метана также переносится на баланс ТЭЖ).

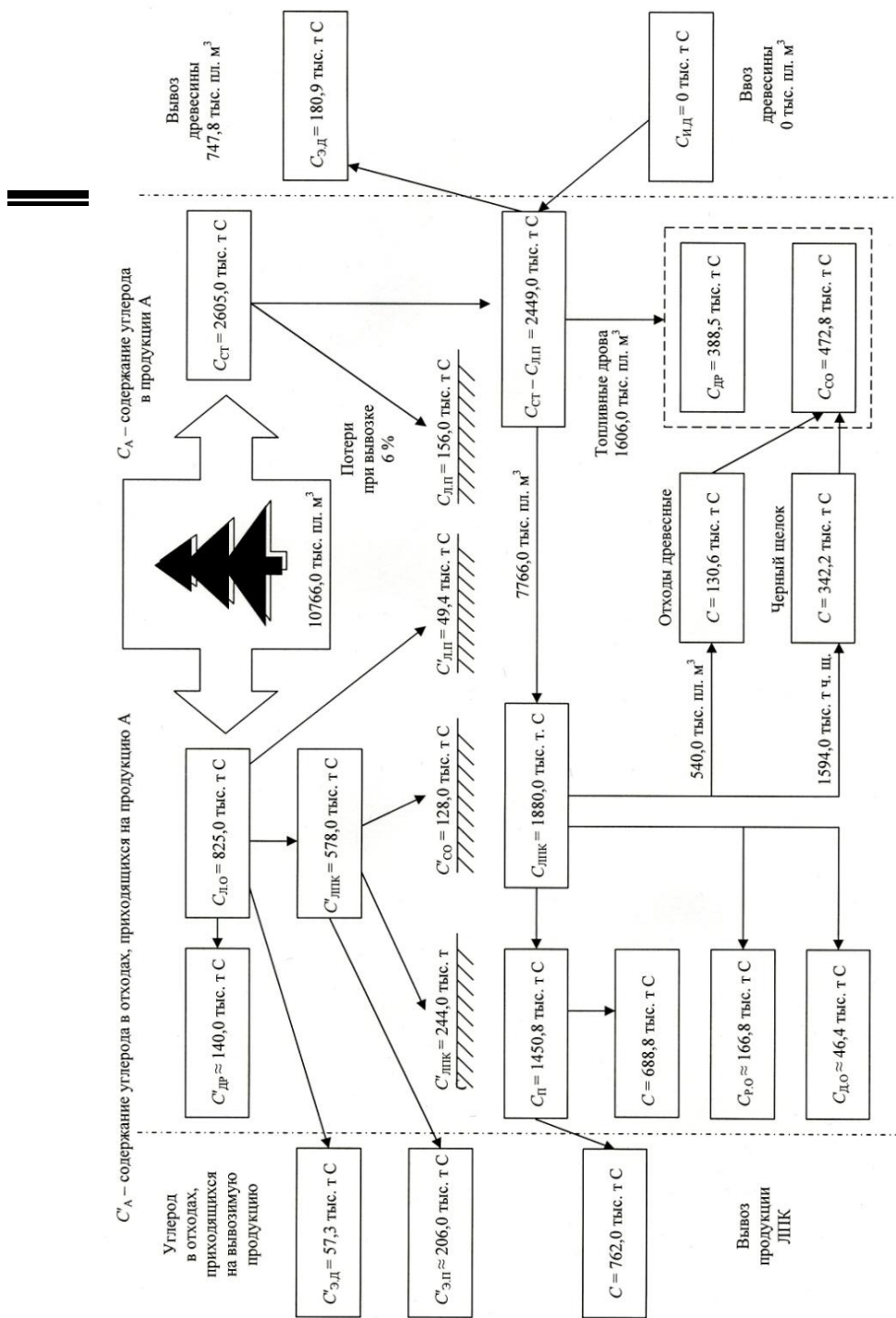


Рис. 2. Поток углерода в лесном комплексе

Объемы выбросов углерода в результате жизнедеятельности населения ($C_{н.ж}$) республики определяются исходя из объема потребления продуктов питания (производимых на территории республики и ввозимых извне). В 1990 г. $C_{н.ж} = 36,4$ тыс. т. С, в 1999 г. – 28,8 тыс. т. С.

Для нахождения потоков углерода в растениеводстве необходимы дополнительные исследования по определению количества связываемого, депонируемого и высвобождаемого углерода (с учетом объемов сельскохозяйственной продукции, потребляемой на территории республики и вывозимой из Карелии, и объемов остающихся отходов).

В 1990 г. суммарный поток углерода от разложения отходов животноводства (на основе данных 1988 г.) и сточных вод $C_{ж.р} = 604 + 36,4 = 640,4$ тыс. т. Использование биогаза позволит уменьшить поток углерода (в эквиваленте CO_2) до $C_{ж.р} = 13,0 + 36,4 = 49,4$ тыс. т/год.

Оценка потоков углерода в болотных биогеоценозах Карелии

Площадь болот в республике составляет 36 тыс. км², заболоченных лесов – 18 тыс. км². Запасы торфа в границах промышленной залежи оценены в 13,7 (56,8) млрд м³ или 2,0 (8,34) млрд т при 40 % влажности, (в скобках указаны прогнозные запасы торфа) [2]. Ежегодно болота производят 170 млн м³ биогаза [16], в котором содержание метана и углекислого газа составляет соответственно 65 и 30 % или 132,6 и 61,2 тыс.

т/год. Эквивалентный выход углерода $C_{э\text{кв}} = \frac{12}{44}(61,2 + 21 \cdot 132,6) = 776,1$ тыс. т.

Годичный прирост торфа оценивается 0,3...1,5 мм или 0,36...1,8 млн т С. При среднем приросте 0,9 мм/год связывание углерода в болотных биогеоценозах составляет 1,08 млн т/год. Баланс углерода в болотных биогеоценозах: $1080,0 - 776,1 = 303,9$ тыс. т С/год. Эта оценка существенно отличается от данной ранее (без пересчета метана в количественный эквивалент CO_2) в сторону уменьшения общего объема стока углерода.

Обмен углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии

Методика расчета баланса углерода в лесных и болотных экосистемах описана ранее [5]. Настоящий расчет выполнен нами по материалам учета лесного фонда на 1.01.1988 г. и 01.01.1993 г. Данные по распределению лесной площади и запасов древесины на 01.01.1991 г. для основных породно-возрастных групп представлены в табл. 6.

Расчеты фиксации углерода (в приросте древостоев – на 1 м³ запаса, живом напочвенном покрове – на 1 га) и высвобождения его с опадом в лесах разных породно-возрастных групп выполнены на основе табл. 6 по удельным показателям, использованным в [5]. Данные о фиксации и высвобождении углерода в древостоях в расчете на весь запас древесины на 1.01.1991 г. (по живому напочвенному покрову – на лесную площадь) приведены в табл. 7.

Таблица 6

Площадь лесов Карелии (числитель – тыс. га) и запас древесины в них (знаменатель – млн м³)

Порода	Молодняки	Средневозрастные и приспевающие	Спелые и перестойные	Всего
Сосняки	2523,9	1343,7	1608,9	5476,5
	57,57	186,02	202,85	446,44
Ельники	599,8	600,9	1081,6	2282,3
	12,98	83,58	162,65	259,21

Мелколиственные	$\frac{317,0}{3,93}$	$\frac{436,5}{38,53}$	$\frac{224,4}{35,91}$	$\frac{977,9}{78,37}$
<i>Итого</i>	$\frac{3440,7}{74,48}$	$\frac{2381,1}{308,13}$	$\frac{2914,9}{401,41}$	$\frac{8736,7}{784,02}$

Таблица 7

**Фиксация углерода (тыс. т) в приросте древостоев (числитель)
и живого напочвенного покрова (знаменатель) и его высвобождение с опадом**

Порода	Молодняки		Средневозрастные и приспевающие		Спелые и перестойные		Всего	
	При- рост	Опад	При- рост	Опад	При- рост	Опад	При- рост	Опад
Сосняки	$\frac{1728,9}{2208,4}$	$\frac{690,8}{2261,4}$	$\frac{2332,7}{1115,3}$	$\frac{1116,1}{1054,8}$	$\frac{907,4}{1584,8}$	$\frac{811,4}{1544,5}$	$\frac{4969,0}{4908,5}$	$\frac{2618,4}{4860,8}$
	$\frac{543,4}{99,6}$	$\frac{272,1}{95,4}$	$\frac{1419,9}{123,2}$	$\frac{794,0}{114,8}$	$\frac{809,0}{448,9}$	$\frac{731,9}{427,2}$	$\frac{2772,4}{671,6}$	$\frac{1798,0}{637,4}$
Мелко- лист- венные	$\frac{365,2}{196,9}$	$\frac{169,4}{200,0}$	$\frac{1043,7}{31,0}$	$\frac{616,5}{31,0}$	$\frac{537,0}{46,0}$	$\frac{378,2}{41,1}$	$\frac{1945,8}{273,9}$	$\frac{1164,1}{272,1}$
	$\frac{2637,5}{2504,8}$	$\frac{1132,3}{2556,8}$	$\frac{4796,3}{1269,4}$	$\frac{2526,6}{1200,6}$	$\frac{2253,4}{2079,6}$	$\frac{1921,5}{2012,8}$	$\frac{9687,2}{5853,9}$	$\frac{5580,4}{5770,2}$
Итого								
Всего:								
по табл. 6 по М.Ф. Макареву [7]	5142,3	3689,1	6065,7	3727,2	4333,0	3934,3	15541,1	11350,6
	5219,0	3744,0	6281,0	3866,0	4469,0	4047,0	15 969,0	11657,0

Общее поглощение атмосферного углерода лесными экосистемами в 1990 г. составляло 15541,1 тыс. т. Из этого количества в чистом приросте древостоев зафиксировано 4190,0 тыс. т С, 11351 тыс. т С поступило с опадом в лесную подстилку. Кроме того, в подстилку попало 981,0 тыс. т С, содержащегося в лесосечных отходах и потерях.

Выбытие углерода из подстилки, примерно равное его среднегодовому поступлению за предыдущие 15 лет, составило 12332 тыс. т. В естественных лесах 10 % выбывающего из подстилки углерода переходит в виде органического вещества в гумус и торф почвы, а остальные 90 % выделяются в виде CO₂ в атмосферу. Однако естественное состояние карельских лесов (помимо рубок) нарушено гидролесомелиорацией. Из-за этого в 1985 г. переход углерода из подстилки в почву сократился (а в атмосферу увеличился) на 78,0 тыс. т [5]. К 1988 г. площадь осушенных лесных земель увеличилась по сравнению с 1985 г. на 7,1 %. Вследствие этого потери органического углерода при переходе подстилка–

почва возросли до 85,0 тыс. т [5]. Таким образом, фактически из лесной подстилки в почву перешло $1233,0 - 85,0 = 1148,0$ тыс. т С, выделено в атмосферу – $11099,0 + 85,0 = 11184,0$ тыс. т С.

Выделение углерода в атмосферу лесными почвами в 1985 г. составило 1140,0 тыс. т [5]. Вследствие увеличения осушенных площадей в 1988 г. этот показатель вырос до 1159,0 тыс. т, тогда общее выделение углерода в атмосферу лесными экосистемами достигло $11184,0 + 1159,0 = 12343,0$ тыс. т. Однако из этого количества нужно вычесть 981,0 тыс. т, уже учтенных в балансе лесного комплекса как выделяющиеся при разложении лесосечных отходов и потерь.

Итоговый баланс углерода на 01.01.1991 г. в лесных экосистемах Карелии: $15541,0 - 12343,0 + 981,0 = 4179,0$ тыс. т, в болотных биогеоценозах – примерно +304,0 тыс. т.

Суммарный баланс углерода на территории Карелии

Объем выбросов углерода в атмосферу топливно-энергетическим комплексом в 1990 г. составил 4510,1...6026,9 тыс. т. Лесной комплекс добавил к этому 1492 тыс. т (без учета углерода в древесине и отходах, использованных на топливо). Эквивалентные объемы выбросов углерода животноводческим хозяйствами и в сточных водах: + 640,4 тыс. т. Общее количество выбросов в атмосферу техногенного углерода 6642,5...8159,3 тыс. т. Связывание атмосферного углерода лесными и болотными биогеоценозами Карелии составило $4179,0 + 304,0 = 4483,0$ тыс. т. Итоговый баланс: $4483,0 - (6642,5...8159,3) = -(2159,5...3676,3)$ тыс. т.

Проведение мероприятий по сбору и использованию выделяемого биогаза (животноводческие хозяйства, торфяные месторождения) позволяет значительно влиять на углеродный баланс. Для 1990 г. потенциал снижения объемов выбросов углерода в сельском хозяйстве оценен в 591,0 тыс. т (выбросы животноводства и в сточных водах составили бы 49,4 тыс. т С/год), энергетический эффект использования биогаза был оценен в 174,5 тыс. т у.т.

Снижение на 30 % эмиссии болотного биогаза (например, в результате разработки торфяных месторождений) позволит уменьшить поток углерода на 233,0 тыс. т/год.

Суммарный баланс: – (1335,5...2852,3) тыс. т С.

Перспективы использования биомассы в Карелии

Методические основы расчетов различных категорий потенциала биомассы на примере Карелии изложены в работах [1, 8]. Некоторые оценки ресурсов биомассы по северо-западу России приведены в [11]. Корневой запас лесов Карелии увеличился на 5 % и составил около 900 млн м³. Энергия, заключенная в нем, оценивается (см. табл. 3, 4) в $900 \cdot 0,692 \cdot 0,7 = 436$ млн т у.т. При заготовках леса вывозится не более $(100 - 6) \cdot 0,480/0,692 = 65$ %. Объемы использования биомассы древостоев Карелии для нужд энергетики могут достигать 5 млн м³, реальный практический потенциал биомассы в

Карелии оценивается в 1,3 млн т у.т. Этот потенциал уже был достигнут в 1990 г.

Современная региональная политика направлена на повышение использования древесного топлива. Также представляется эффективным получение биогаза в животноводческих хозяйствах. Как было показано выше, мероприятия по сбору биогаза дают энергетический эффект (выработка тепловой энергии и замещение топлива в ТЭК) и улучшают углеродный баланс.

Продажа квот на выбросы углерода может стать стимулом более ускоренной модернизации теплового хозяйства Карелии [9]. Развитие возобновляемых источников энергии, в частности биоэнергетики, будет содействовать улучшению экологической, экономической и социальной ситуации в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безруких, П.П.* Использование и оценка ресурсов древесного топлива в России [Текст] / П.П. Безруких, Г.И. Сидоренко, Г.А. Борисов // Изв. РАН. Энергетика. – 2002. – № 6. – С.24–35.
2. *Борисов, Г.А.* Энергетика Карелии. Современное состояние, ресурсы и перспективы развития [Текст] / Г.А. Борисов, Г.И. Сидоренко. – СПб.: Наука, 1999. – 303 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 1992, 1993 и 1995 гг. [Текст]. – Петрозаводск: Мин-во экологии и природных ресурсов Республики Карелия, 1993, 1994, 1995.
4. *Казимиров, Н.И.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии [Текст] / Н.И. Казимиров, Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1973. – 175 с.
5. *Макаревский, М.Ф.* Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии [Текст] / М.Ф. Макаревский // Экология. – 1991. – № 3. – С. 3–10.
6. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера [Текст] / Н.И. Казимиров [и др.]. – Л.: Наука, 1977. – 304 с.
7. Регионы России [Текст] // Стат. сб.: в 2 т. – М.: Госкомстат России, 1998. – Т.1 – 614 с., Т.2 – 797 с.
8. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России [Текст] / П.П. Безруких [и др.]. – СПб.: Наука, 2002. – 314 с.
9. *Сидоренко, Г.И.* Возможности использования энергетических ресурсов Карелии для снижения выбросов CO₂ в атмосферу [Текст] / Г.И. Сидоренко // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Научные проблемы энергетики возобновляемых источников», окт. 2000 г. – Самара, 2000. – С. 102–105.
10. Техничко-экономический доклад по энергообеспечению Республики Карелия на базе нетрадиционных возобновляемых источников энергии с целью снижения энергодефицита и улучшения экологической обстановки [Текст]: отчет о НИР / рук. Г.И. Сидоренко. – Петрозаводск, 1992.
11. *Bezrukikh, P.* Challenges for the Use of Bioenergy in Northwest Russia [Text] / P. Bezrukikh // Woody Biomass as an Energy Sources – Challenges in Europe. / eds.: P.Pelkonen, P.Hakkila, T.Karjalainen, B.Schlamadinger. – EFI Proceedings, 2001. – N 39. – P.45–62.

12. Global, regional, and national CO₂ emissions [Text] / G. Marland [et al.] // A compendium of data on global change. – Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, TN, U.S.A., 1999.

13. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls [Text] / J. Koskela [et al.]. – Tropical Forestry Reports, 22, University of Helsinki, Department of Forest Ecology, Helsinki, 2000.

14. On the ecological and economic impacts of wood harvesting and trade in North-West Russia [Text] / V.V. Strakhov [et al.]. – Joensuu, Finland, 1996.

15. Oud, E. Global warming: a changing climate for hydro [Text] / E. Oud // Water Power & Dam Construction. – May, 1993. – P. 20–23.

16. Role of forestry and biomass production for energy in reducing the net GHG emissions in Finland. Assessment concerning the history and future [Text] / I. Savolainen [et al.] // IEA Bioenergy. Task 25, Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems. Proceedings COP3 and COP4: The Role of Bioenergy in Achieving the Targets Stipulated in the Kyoto Protocol. – Finland, 1998. – P. 41–52.

17. Sidorenko, G.I. Influence of Karelia's fuel-energy complex on carbon balance and prospect of use of biofuels [Text] / G.I. Sidorenko, L. Ivashkina // The workshop «Bioenergy 2005»: Sustainable Biomass Management Chains to meet Kyoto Requirements. – Veliky Novgorod, Russia, Department of Bioenergy, SLU, Uppsala, Sweden, 2005.

Поступила 09.01.08

A.G. Gutaev, G.I. Sidorenko
Saint-Petersburg State Technical University

Carbon Balance Analysis of Republic of Karelia and Forest Complex Role

The data on direct and indirect carbon flows in fuel-energy complex of Karelia are obtained. Carbon flows in the forest complex and agriculture their anthropogenic constituent are assessed. The connection of carbon flows with different sources of energy biomass is demonstrated.

Keywords: Karelia, carbon balance, fuel-energy complex, biomass, wood fuel.
