

УДК 551.312.2(470.22)

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ОРГАНИКИ И УГЛЕРОДА В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КАРЕЛИИ**

**Г. А. Елина, П. Н. Токарев**

*Институт биологии Карельского научного центра РАН*

Среднемасштабные карты торфяного фонда и растительности болот Карелии впервые систематизированы и представлены в программах ГИС-технологий. Они основаны на многоплановой базе данных, которая характеризует торфяники общей площадью 2,6 млн га. Для получения реальных значений о площади болот проведена дополнительная их оцифровка по космоснимкам в эталонных квадратах (10 x 10 км), а затем выполнено их районирование. В результате принята новая оценка заболоченности территории и получены уточненные значения запасов углерода.

**Ключевые слова:** торфяные болота, заболоченность, пространственная гетерогенность, тематические электронные карты, запасы органики, аккумуляция углерода, пространственная и временная динамика.

### **G. A. Elina, P. N. Tokarev. REGULARITIES OF PEAT AND ORGANIC MATTER ACCUMULATION IN MIRE ECOSYSTEMS OF KARELIA**

Mid-scale maps of peat deposits and mire vegetation of Karelia were for the first time systematized and presented in GIS environment. They were derived from the multidimensional database describing 2 600 000 hectares of peatland. To accurately determine the size of the mires the data were additionally digitized from recent satellite images in 10 x 10 km squares, whereupon they were divided into districts. As the result, the paludification degree and carbon pool of the territory were re-estimated.

**Key words:** peatlands, paludification degree, spatial heterogeneity, thematic digital maps, organic matter stores, carbon accumulation, spatial and temporal dynamics.

Изучение заболоченности территории связано с проблемой аккумуляции органического вещества и углерода в торфах и его круговорота в голоцене. Аккумуляция органики, как известно, зависит от целого ряда природных факторов: климата, геоморфологии, гидрологии, водно-минерального режима болот, закономерностей их развития и индивидуальных особенностей сукцессионных смен растительности каждого болотного массива. Особенно актуальным этот вопрос стал в последние десятилетия, когда антропогенный пресс возрос во много раз.

Сведений по количественным показателям аккумуляции углерода в литературе немного. В России получены такие данные для всей территории, но результаты имеют пока обобщенный, предварительный характер [Вомперский и др., 2005; Косов и др., 2007]. В региональной литературе приводятся расчеты запасов углерода для ряда разрезов низинных и верховых болот Финляндии, Швеции, Америки [Gorham, 1991; Crill et al., 2000; Mäkila et al., 2001; Turunen et al., 2002]. По данным этих авторов, углерод составляет около половины всего органического вещества.

Величина аккумуляции органического вещества в торфе рассчитывалась и для Карелии, но лишь для отдельного ее региона [Елина и др., 1994]. Учитывая малую разработанность этой проблемы в 1990-е годы, мы проверили, можно ли установить зависимость темпов аккумуляции от условий увлажнения болот и получить количественные значения ее в разных видах торфа. В основу наших расчетов были положены эталонные разрезы изученных болот заповедника «Кивач», обеспеченные палинологическими и радиоуглеродными данными, а также другие разрезы болот, в которых слои имеют только относительные датировки. Для расчетов аккумуляции использована единая оригинальная методика. Каждый стратиграфический разрез прежде всего разбивался на одновидовые слои торфа, верхняя и нижняя границы которых приурочивались к датировке по радиоуглероду. При отсутствии датировки по  $^{14}\text{C}$ , их возраст определялся или с помощью спорово-пыльцевых данных, или через величину прироста торфа, мм/год.

Проведенные исследования позволили установить ряд закономерностей:

1. Увеличение значений аккумуляции происходит от «молодых» торфов к более «старым», причем только в залежах с нормальными условиями накопления, т. е. в таких, где прирост торфа приближается к средним значениям по Карелии.

2. В пределах одних и тех же видов торфа аккумуляция всегда (или почти всегда) больше в «старых» торфах по сравнению с «молодыми».

3. Прослеживается четкая зависимость аккумуляции от прироста торфа. Отношение первого значения ко второму (коэффициент) в среднем составляет 1,3, с колебанием от 1,16 до 1,45. Отсюда следует, что, зная величину прироста торфа в каждом слое определенного разреза, можно получить близкие к истинным показатели аккумуляции.

Общий запас торфа для всей территории Карелии был рассчитан О. Л. Кузнецовым [Kuznetsov, 1996], исходя из площади болот, равной 26 500 км<sup>2</sup>, и средней глубине – 1,97 м. С учетом мелкозалежных болот и болотных лесов он составит 56,8 млрд м<sup>3</sup>.

Настоящее исследование опирается на значительный по объему блок отдельных публикаций, перечисленных далее в тексте, нескольких монографий [Елина, 1981; Елина и др., 1984, 2000, 2005], а также инициативного проекта РФФИ<sup>4</sup>. При проведении этих исследований

использовался комплекс сопряженных методов (апробированных и оригинальных). Среди них были палеоклиматические, геоморфологические, палинологические, палеоботанические, стратиграфические, радиоуглеродные, палео-гидрологические методы [Елина и др., 2000; Филимонова, 2002]. Широко применялись методы географических информационных систем (ГИС), на которых основан авторский способ дешифрирования болот на космоснимках с использованием электронных версий планшетов дешифровки болотной растительности по аэрофотоснимкам. В настоящее время все картографические наработки прошлых лет переформлены в программе MapInfo. В изучении состояния и динамики болотных экосистем в пространственно-временном аспекте ГИС-технологии применяются впервые.

Работа выполнялась в несколько этапов. Прежде всего был сделан предметный анализ среднемасштабных («бумажных») карт тематического районирования Карелии: геоморфологического [Лукашов, 2003], болотного [Юрковская, 1971; Елина и др., 1984], ландшафтного [Громцев, 2000], а затем карт торфяного фонда [1957, 1979] и растительности болот [1967]. Но оказалось, что ни одна из этих карт не отражает в достаточной степени варьирование глубин и размеров болот, а также степени заболоченности (в пределах пространственных выделов).

В отличие от библиотечных каталогов (алфавитных или тематических), средства ГИС позволяют «мгновенно» упорядочивать объекты в зависимости от целей и задач пользователя. Но главное отличие – это использование операции геопозиционирования болотных объектов, т. е. их привязки к географическим координатам. Это позволяет наглядно представлять на карте все объекты такого Каталога. Причем делается это с необходимой степенью масштабирования. Все работы по регистрации картографической информации фондовых материалов выполнялись нами на единообразной картографической основе М 1 : 1 000 000 цифровой карты Карелии.

Являясь современным способом получения и обработки больших информационных массивов, ГИС-технологии позволили сформировать многоплановую базу данных (БД), систематизировать и наглядно, географически, представить электронные варианты карт торфяного фонда, растительности болот, запасов торфа и углерода в торфяных отложениях. В последние годы БД уточняется в соответствии с новыми разработками [Антипин и др., 2005; Антипин, Токарев, 2008].

<sup>4</sup> Российский фонд фундаментальных исследований № 04-04-49013 (2005–2007): «Установление закономерностей пространственно-временной динамики болотных экосистем и аккумуляции органического вещества в голоцене на востоке Фенноскандии с применением ГИС-технологий».

Торфяной фонд республики в границах нулевой залежи был исчислен в 3,6 млн га [Лепин, 1957]. Но на первом этапе мы исходили из установленной по карте растительности болот площади болот, равной 2,9 млн га, а по карте Торфяного фонда – 2,6 млн га (при средней глубине торфа 2 м). Уже по этим данным можно получить предварительные сведения по запасам торфа, а затем содержанию в нем углерода.

Степень изученности торфяного фонда наземными методами в целом невысока (12 %), поэтому необходимо было внести поправки, детализировать обобщенные данные и выявить закономерности пространственного распределения торфяных болот и углерода, что можно было сделать только на современном уровне. Эти исследования постепенно увеличивали указанные выше цифры, приближая их к «гипотетической» величине в 3,6 млн га.

Для решения этой проблемы были разработаны специальные приемы, которые позволили установить уровень дробности территориальных выделов (контуров), принципы их выделения и оптимальный размер. Они включали:

1. Анализ электронных карт растительности болот и торфяного фонда.

2. Уточнение степени заболоченности в карте Торфяного фонда (в пределах ключевых участков и в лагунах<sup>5</sup> и установление запасов органики и углерода в торфяных болотах в целом для Карелии и в отдельных природных выделах).

3. Выявление пространственно-временных закономерностей заболачивания территории в последние 8000 лет.

Далее в указанном порядке в аргументированном виде, с соответствующими иллюстрациями приводятся полученные наработки.

## 1. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ РАСТИТЕЛЬНОСТИ БОЛОТ И ТОРФЯНОГО ФОНДА

**Карта растительности болот**, составленная в 1967 г. на бумажной основе Т. К. Юрковской, Р. П. Козловой и Г. А. Елиной (в М 1 : 600 000), хранится в виде рукописного макета в архиве лаборатории болотных экосистем ИБ КарЦН РАН. Материалом для ее составления послужили результаты многочисленных экспедиционных маршрутов и камеральное сплошное дешифрирование аэрофотоснимков на планшетах М 1 : 25 000 и 1 : 50 000. Таких планшетов было изготовлено

ручным способом свыше 1000 шт. [Елина, Кузнецов, 2006].

В первоначальной легенде к карте растительности болот приводятся 20 условных знаков. По каждому знаку легенды имеются данные не только полевых исследований, но и многочисленные публикации [Галкина, 1936; Юрковская, 1959, 1964; Елина, 1971, 1974; Елина, Кузнецов, 1977, 1982; Кузнецов, 1980, 1982; Елина, Антипин, 1992; Елина и др., 1998, 2003; Максимов, 2005; Кутенков, 2005, 2006 и мн. др.].

К настоящему времени карта растительности болот визуализирована Г. А. Елиной с помощью современных ГИС-технологий в программе MapInfo и дополнена с учетом всех вновь полученных материалов. Карта частично опубликована в цветовом варианте, где она сопровождается обновленной легендой [Юрковская, Елина, 2005], включающей 16 знаков, из которых типы болотных массивов (БМ) занимают 80 % площади, а их системы – 20 %.

Эта карта имеет самостоятельное научное значение, но она важна и тем, что существует прямая корреляция современной растительности болот с типами и группами торфяной залежи, а в определенной степени и с глубиной торфяной залежи. Кроме того, эти две карты (торфяного фонда и растительности болот) могут быть совмещены, что увеличивает объем информации. В статье Т. К. Юрковской и Г. А. Елиной [2005] было подчеркнуто, что типологическая среднemasштабная карта растительности болот Карелии может рассматриваться как модель растительного покрова, а принципы построения легенды карты основываются на представлении о болотах, как сложноорганизованных системах.

В обширной БД, составленной по 400 болотам<sup>6</sup>, исследованным наземными методами, представлены сведения по их растительности и типам БМ, стратиграфии залежи, площади болот, типам депрессий, глубине торфа и сапропеля, уклонам поверхности, абсолютному и относительному возрасту разрезов и их отдельных слоев в пределах периодов голоцена (всего по 18 показателям). Сформирована еще одна более подробная БД для 87 опорных разрезов, обеспеченных спорово-пыльцевыми диаграммами и 269 радиоуглеродными датировками. В ней приводятся также данные по приросту торфа (мм/год), которые использовались далее для реконструкции возраста торфа по периодам голоцена [Елина, 1981; Елина и др., 2000].

В сокращенной легенде далее приведены основные типы. Площади систем, образован-

<sup>5</sup> Лагунами названы территории, где по данным «Торфяного фонда» болота практически отсутствуют.

<sup>6</sup> Эта БД включает болота, изученные наземными методами за период с 1970 по 2000 гг. Позднее количество таких болот увеличилось примерно до 500.

ных 1–3 типами, добавлены к приведенным 10 типам (табл. 1). Типы болот различаются по растительности и трофности: дистрофные (**Д**), олиготрофные (**О**), мезоолиготрофные (**МО**), мезотрофные (**М**), евтрофно-мезотрофные (**ЕМ**) и евтрофные (**Е**).

Видно, что наибольшую значимость, как по занимаемой площади, так и количеству болотных массивов занимают типы 7 и 8, а затем типы 1–3 (в табл. 1 – выделено). Для первых характерна торфяная залежь низинная и переходная, для вторых – верховая.

Таблица 1. Легенда карты растительности болот с обозначением площади каждого типа (1–10) и количества очерченных массивов

Типы болотных массивов (БМ)		S, тыс. га	n
1	Кустарничково-лишайниковые <b>Д</b> с вторичными озерами и денудированными мочажинами в центре ( <i>южноприбеломорский тип</i> )	<b>480</b>	<b>233</b>
2	Сфагновые с <b>О</b> грядово-мочажинным комплексом в центре и (кустарничково)-травяно-сфагновыми облесенными и безлесными ассоциациями по периферии	<b>410</b>	<b>704</b>
3	Сосново-кустарничково-сфагновые или кустарничково-сфагновые <b>О</b>	<b>235</b>	<b>673</b>
4	Пушицево-сфагновые <b>МО</b> с разреженной сосной по краю	146	172
5	Осоково-сфагновые <b>М</b> с редкой березой и сосной	89	208
6	Сфагновые с <b>МО</b> грядово-мочажинным центром и кустарничково-пушицево-сфагновой периферией	80	98
7	С травяно-моховым центром и с облесенной периферией, преимущественно <b>М</b>	<b>667</b>	<b>1697</b>
8	С грядово-мочажинным и грядово-озерковым <b>ЕМ</b> центром и сосново-кустарничково-травяно-сфагновой <b>МО</b> периферией ( <i>аала тип</i> )	<b>827</b>	<b>1372</b>
9	Крупно- или мелкоосоковые <b>Е</b> , иногда с гипновым или слабо развитым сфагновым покровом	9	35
10	Лесные преимущественно сосновые с примесью березы и ели, иногда березовые или еловые <b>Е</b> , реже <b>М</b>	36	106
Сумма		<b>2979</b>	<b>5298</b>

### Карта торфяного фонда

По цифровой карте торфяного фонда [Токарев, 1998, 2001] было выполнено районирование с учетом высотных уровней рельефа и геоморфологии [по: Лукашов, 2003], а также элементов гидрологии, что совместно и определяет степень заболоченности территории. Всего оцифровано 4697 контуров болот, суммарная площадь которых составляет 2,6 млн га. На карте выделены 4 типа торфяной залежи (табл. 2), установлена их площадь и процентное соотношение. Но для 20 % болот тип залежи не известен, поскольку наземных исследований на них не проводилось.

Таблица 2. Соотношение площади типов торфяной залежи

Тип залежи	Площадь, га	%
Верховой	401523	29
Переходный	435014	31
Смешанный	90136	7
Низинный	172914	13
Неизвестный	269776	20

Для составления обобщенной таблицы торфяных болот использованы конкретные данные по запасам торфа во всех выделенных 11 районах и подрайонах, а также средние глубины болот, которые колеблются от 1,6 до 4,07 м, а в среднем составляют 2,2 м (табл. 3).

В графическом виде четко заметно (рис. 1), сколь различна степень заторфованности районов и подрайонов, что является следствием прямого влияния как геоморфологического строения территории Карелии, так и других природных факторов.

Полученные на картах данные показывают высокую достоверность различий показателей в пределах территориальных выделов по всем параметрам: степени заболоченности (рис. 2, А), средней глубине болот (рис. 2, Б) и ряду других показателей, представленных в соответствующей БД.

Исходя из установленной ранее по Торфяному фонду [1957] площади торфяных болот (2,6 млн га) и средней глубины торфа, равной примерно 2,2 м, вначале рассчитали запас торфа естественной влажности и абсолютно сухого веса, а затем уже содержание в нем углерода (3 288 млн т). Но поскольку считается [Пьявченко, Коломыцев, 1980], что торфяные болота занимают площадь 3,6 млн га, то теоретически запас углерода должен равняться 4 622 млн т. Последнее еще предстоит обобщать.

В целом прослеживается достаточно четкая зависимость размеров и глубин болот от типа рельефа. Это отражено в обобщенном виде при характеристике геоморфологических районов [Елина и др., 2005, по: Лукашов, 2003] и интен-

Таблица 3. Характеристика торфяных районов, где торф: низинный (Н), переходный (П), верховой (В); коэффициент для пересчета на абсолютно сухой вес составляет в среднем 0,127

№ района	Площадь торфяного р-на, км <sup>2</sup>	Площадь торфяников, га	Тип залежи	Заторфованность, %	Средняя глубина, м	Запас торфа естественной влажности, тыс. т	Запас углерода млн т
<b>1</b>	3 779,45	23 120	ПН	6,1	2,5	578 000	36,7
<b>2</b>	23 407,95	461 932	ПН	19,7	1,51	6 975 173	442,9
<b>3</b>	4 973,48	26 040	П	5,2	2,19	570 276	36,2
3,1	6 187,56	25 929	П	4,2	1,8	466 722	29,7
<b>4</b>	31 574,33	669 247	П	21,2	2,0	13 384 940	850,0
4,1	2 609,93	5 699	П	2,2	1,44	82 066	5,2
4,2	1 109,96	44 882	П	40,4	1,73	776 459	49,3
4,3	2 850,68	8 390	П	2,9	2,89	242 471	15,4
4,4	2 458,79	16 585	В	6,7	3,55	588 768	37,4
<b>5</b>	8 223,46	374 725	В	45,6	2,21	8 281 423	525,8
5,1	405,07	3 990	В	9,9	2,9	115 710	7,3
<b>6</b>	9 533,78	132 908	ВП	13,9	2,06	2 737 905	173,9
6,1	5 849,11	155 639	П	26,6	2,0	3 112 780	197,7
6,2	2 332,95	34 105	В	14,6	2,15	733 258	46,5
6,3	1 286,41	24 090	П	18,7	1,94	467 346	29,7
6,4	296,3	141	В	0,5	2,22	3 130	0,2
6,5	1 700,05	33 177	Н	19,5	1,82	603 821	38,3
6,6	2 997,68	29 827	П	10,0	2,16	644 263	40,9
<b>7</b>	4 714,39	37 578	Н	8,0	2,03	762 833	48,5
7,1	1 384,47	12 027	П	8,7	1,7	204 459	13,0
7,2	1 412,85	10 966	П	7,8	1,75	191 905	12,2
7,3	1 183,62	5 741	П	4,9	2,06	118 265	7,5
<b>8</b>	3 045,00	61 838	ПН	20,3	1,68	1 038 878	66,0
<b>9</b>	2 610,70	21 373	ВП	8,2	2,01	429 597	27,3
9,1	855,04	1 431	Н	1,7	2,36	33 772	2,1
9,2	824,29	18 338	В	22,2	2,41	441 946	28,1
9,3	1 076,03	4 177	ВП	3,9	2,17	90 641	5,7
9,4	395,84	7 377	Н	18,6	1,6	118 032	7,5
<b>10</b>	3 230,69	37 509	Н	11,6	2,05	768 935	48,8
10,1	6 317,77	199 852	В	31,6	2,61	5 216 137	331,2
10,2	6 596,15	56 888	ВП	8,6	2,45	1 393 756	88,5
10,3	1 681,00	6 849	П	4,1	4,07	278 754	17,7
<b>11</b>	4 801,00	14 747	В	3,1	2,21	325 909	20,7
		<b>2 567 177</b>		<b>0,5–45,6</b>	<b>2,19</b>	<b>51 778 330</b>	<b>3 288</b>

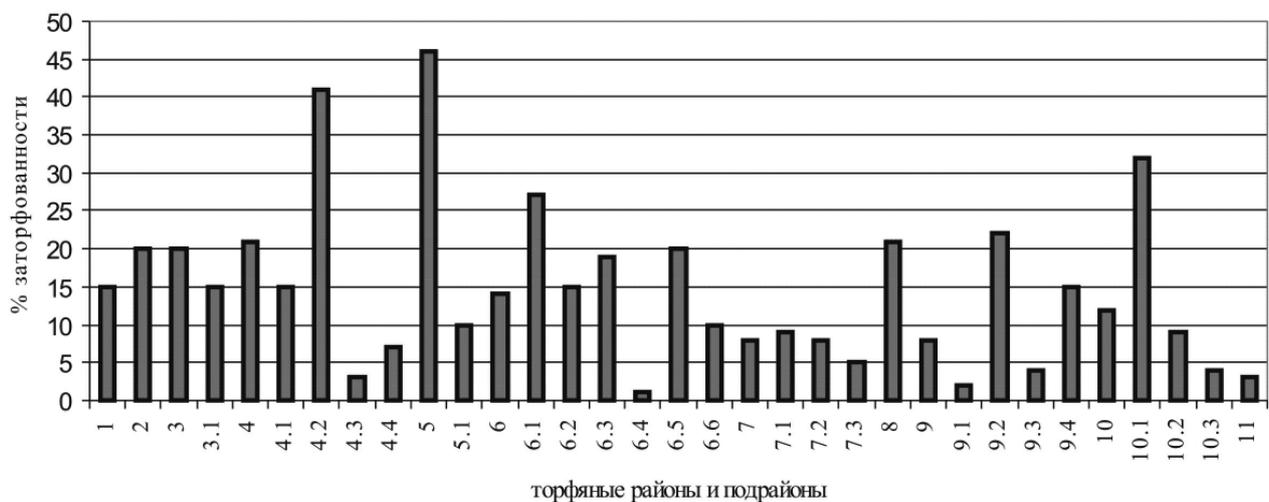


Рис. 1. Степень заболоченности торфяных районов и подрайонов, %

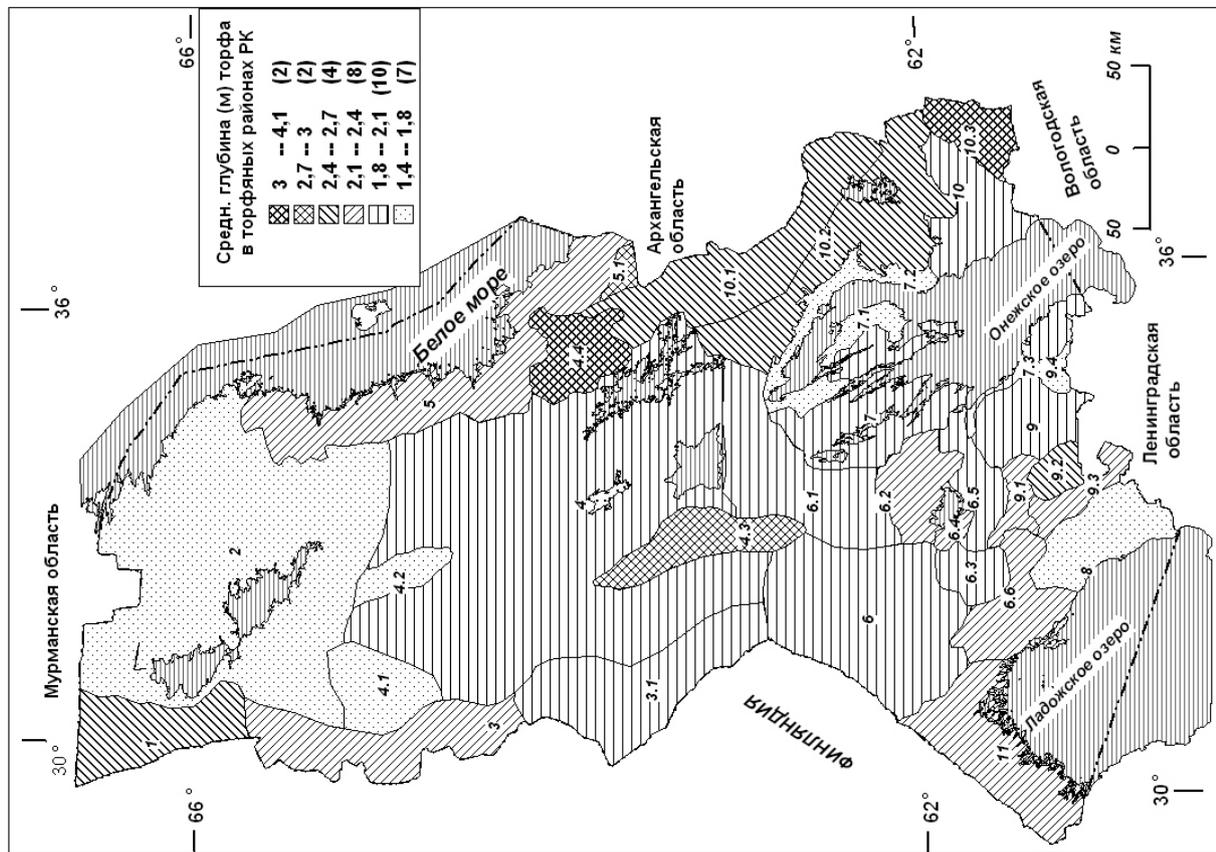
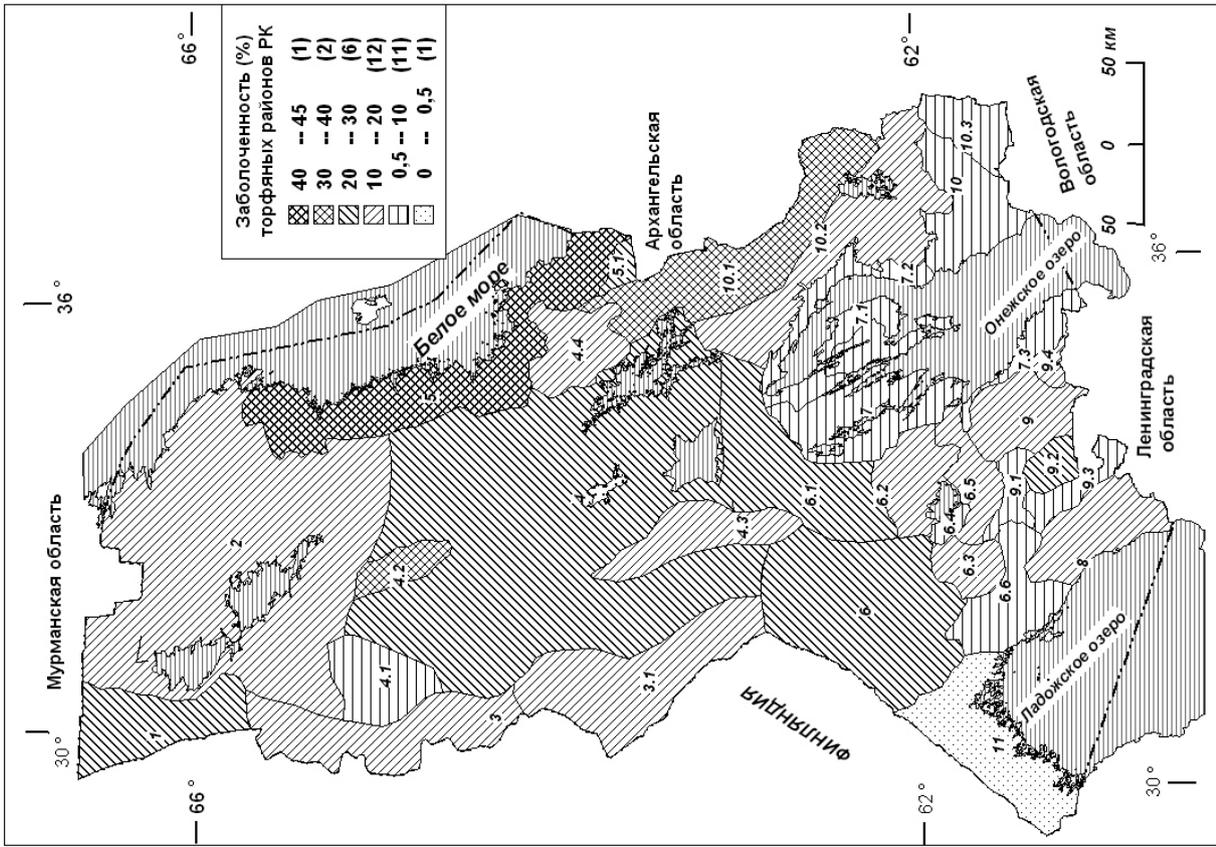


Рис. 2. Районирование торфяных болот по глубине торфа, м (слева) и показателям заторфованности, % (справа)

сивности заболачивания [Елина, 1994]. Болота в грядовых ландшафтах более глубокие, чем на моренных и водно-ледниковых и морских равнинах. Такая же зависимость отмечается и в отношении степени заболоченности территории. Так, в пределах грядового рельефа она колеблется от 12 до 20 % [Елина, Кузнецов, 1977]. На морской равнине заболоченность в среднем составляет 45 %, достигая местами 66–70 % [Елина и др., 2005].

Карты растительности болот (КРб) и торфяного фонда (КТф) составлялись разными методами и особенно различались в принципах генерализации контуров [Токарев, 2001; Юрковская, Елина, 2005]. Однако все это почти не отразилось на значении площади болот в обеих картах (КРб – 2,9; КТф – 2,6 млн га) и достаточно четко видно на рис. 3. На фрагменте, соответствующем равнине морского генезиса (А), заболоченность на карте КРб составляет 46 %, а на том же фрагменте КТф (Б) – 45 %. Столь же близка она и во втором случае, на моренной равнине (В и Г): 19 и 21 %. В дальнейшем при рассмотрении материала мы сочли возможным опираться только на карту торфяного фонда, поскольку анализ ее более многогранен [Токарев, 1998, 2001; Антипин и др., 2005; Антипин, Токарев, 2008].

## **2. УТОЧНЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАБОЛОЧЕННОСТИ В КАРТЕ «ТОРФЯНОГО ФОНДА»**

Для дальнейшего уточнения степени заторфованности карты торфяного фонда П. Н. Токарев [1998] впервые составил электронную карту распределения болот в системе регулярных равновеликих квадратов: 10 x 10 км [по: Коросов А. В., Коросов А. А., 2006] с использованием метода крикинга [Дэвис, 1990]. В таком варианте эта карта отражает как самые общие закономерности процессов заболачивания, так и частные – в пределах отдельных пространственных выделов. Эти данные без особого труда могут преобразовываться в другие тематические карты, в частности, карты глубины торфяной залежи и запасов органики.

Итак, задача этого этапа настоящего исследования заключается в оценке массы аккумулярованного в торфе углерода, сначала в целом за голоцен для всей территории Карелии, а затем – для отдельных торфяных районов. Задача такого исследования состоит в том, чтобы документально приблизиться к показанной ранее площади торфяных болот, приравненной к 3,6 млн га.

Поэтому мы посчитали необходимым внести в карту торфяного фонда поправки: по данным

количества и суммарным значениям площадей болот, в пределах наиболее представленных геоморфологических выделов. Такие поправки сделать возможно, поскольку при генерализации выделов, при уменьшении масштаба от 1 : 25 000 до 1 : 600 000, исключаются объекты менее 100 га. Особенно важны уточнения для грядовых денудационных и флювиогляциальных форм рельефа, в которых преобладают мелкие болота. Столь же важно уточнить, в плюсовую или минусовую сторону изменились площади болот на равнинах разного генезиса. Решение этой проблемы стало возможным при использовании космических снимков Landsat7 с разрешением 30 м.

Установление степени заболоченности выполнялось нами на полигонах или модельных территориях (МТ)<sup>7</sup>, где имеются данные наземных исследований [Юрковская, 1959, 1964; Елина, 1971, 1977, 1982; Елина, Кузнецов, 1977, 2003; Кузнецов, 1980, 1982; Елина и др., 1984; Елина, Антипин, 1992 и мн. др.].

Визуальный анализ распределения болот по территории выявил наличие белых пятен или лакун, где болота на карте торфяного фонда практически отсутствовали. В основном это участки вблизи границы с Финляндией и ряд территорий грядового и холмистого рельефа с небольшими по площади болотами.

Уточнение степени заболоченности в пределах лакун проводилось как на наземно изученных ключевых участках, так и в пределах эталонных квадратов (по космоснимкам). На полигоне, расположенном в пределах МТ «Костомукша», показано, что по карте торфяного фонда заболоченность в среднем составляет 12–25 %. Но если посмотреть на космоснимок, то видим, что в лакуне также много и небольших болот, которые занимают до 20 % (рис. 4). Подобные исследования были проведены и в других выделах, где составлялись крупномасштабные карты. Оказалось, что площадь болот в грядовом рельефе, определенная по методике П. Н. Токарева [2001, 2005], превышает данные торфяного фонда в 3,5 раза.

Был проанализирован еще ряд выделов, в которых выполнялся всесторонний анализ параметров, необходимых для решения поставленной задачи. Сравнивались данные из модельных территорий, а также эталонных квадратов (ЭК), выделенных на космических снимках [Токарев, 1998, 2001] площадью 10 x 10 км. Анализ всех этих данных показал, что заболоченность на территории Карелии в их пределах может колебаться от 15 до 60 %.

<sup>7</sup> Полигоны – места скопления болот, изученных наземными методами, МТ – то же, но в очерченных границах.

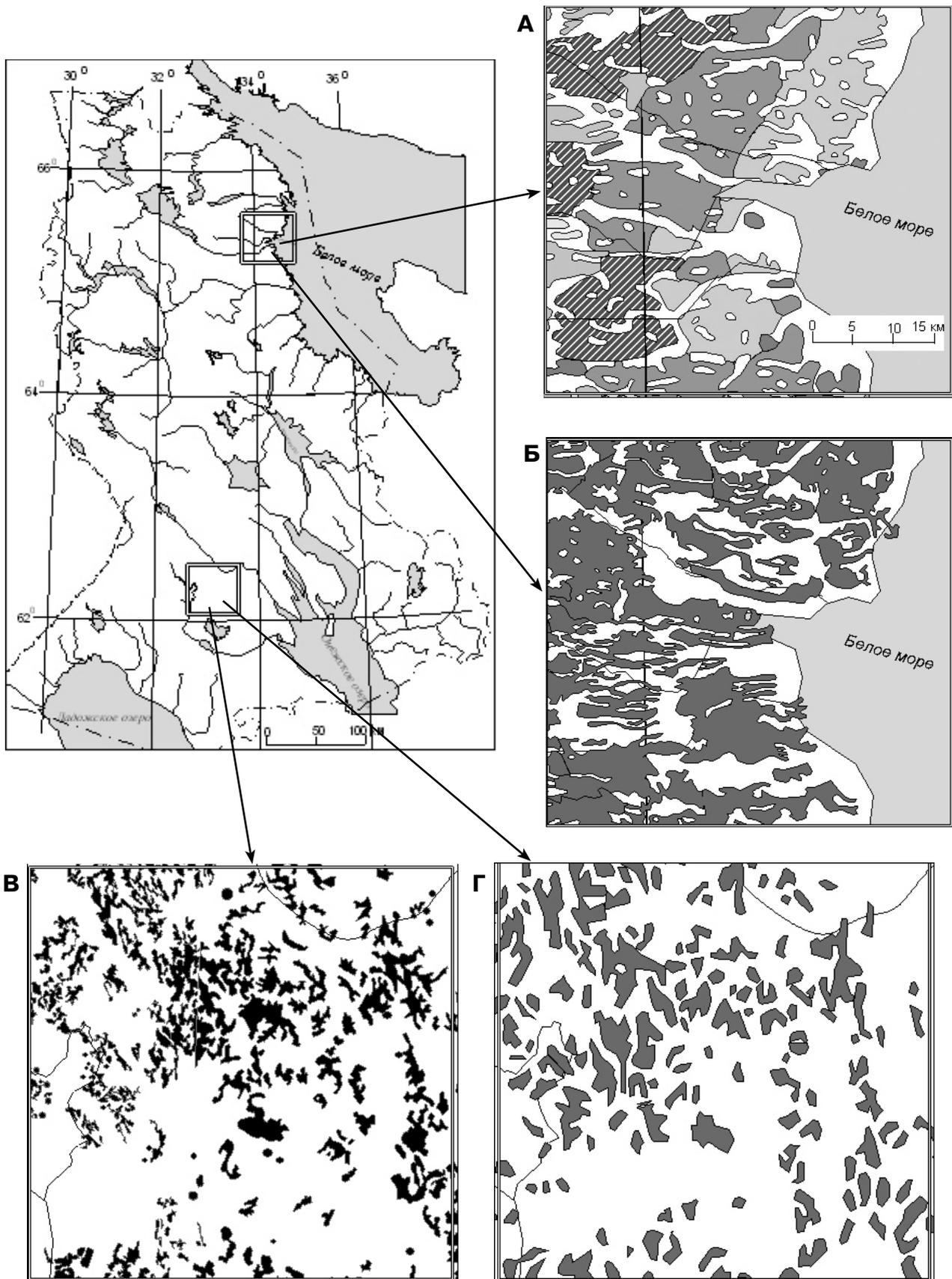


Рис. 3. Местоположение крупномасштабных фрагментов карт.

Справа – Прибеломорской низменности: А – растительности болот, Б – торфяного фонда. Внизу – моренной равнины: В – растительности болот, Г – торфяного фонда

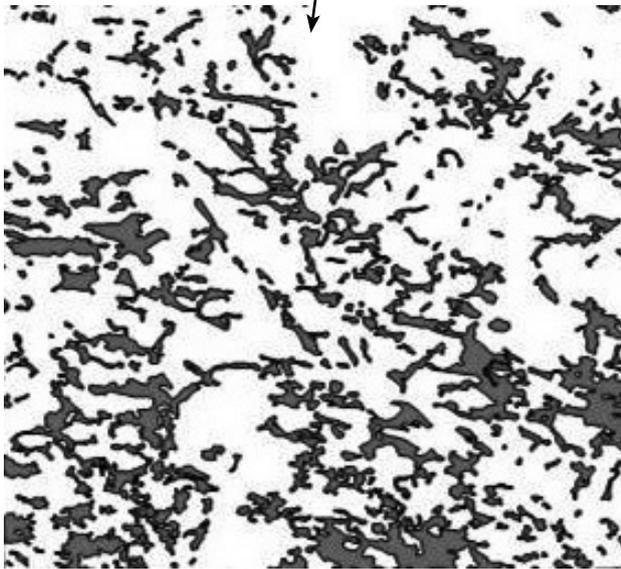
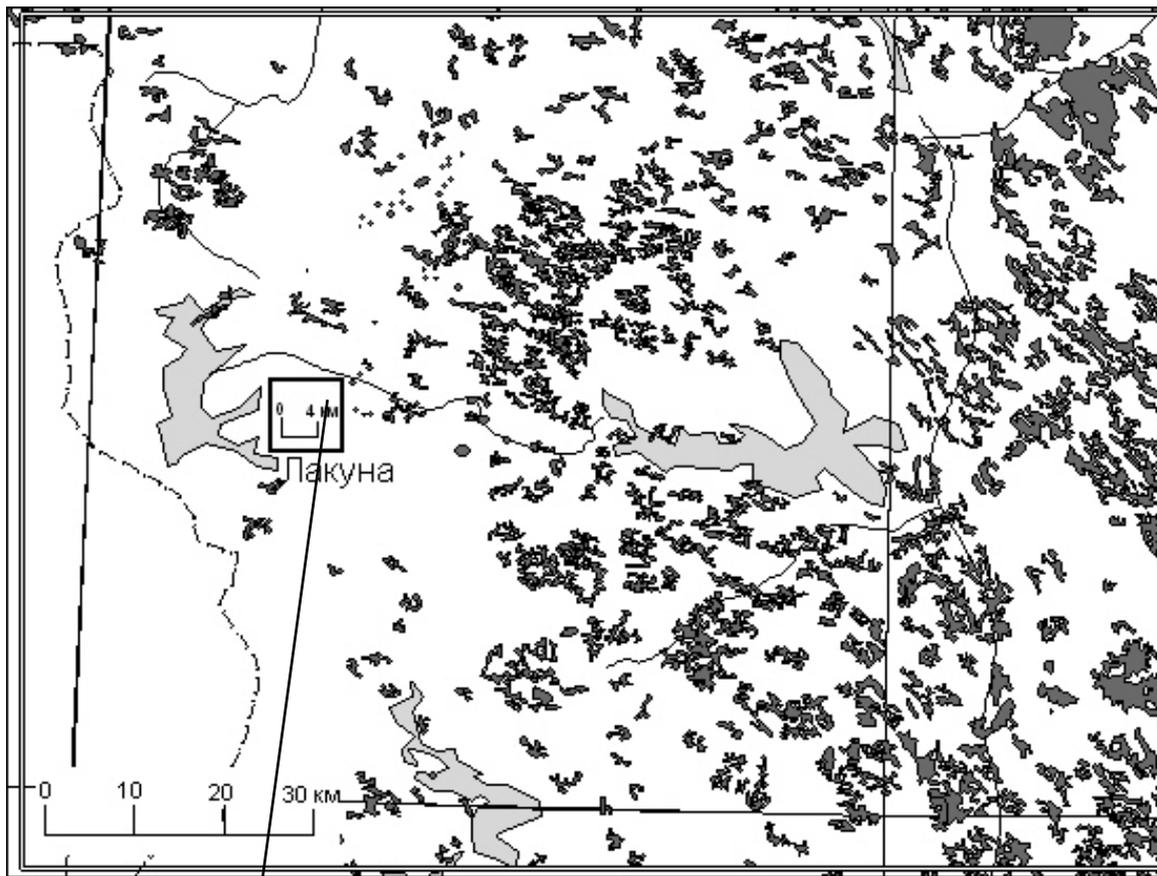


Рис. 4. Фрагмент карты торфяного фонда северо-запада Карелии (наверху), где черным квадратом показана лагуна.

Внизу – тот же квадрат в более крупном масштабе с оцифрованными болотами по космическому снимку

В результате удалось ответить на вопрос: в каких формах рельефа необходимо уточнять площадь болот и главное – в плюсовую или минусовую сторону. Установлено, что эти показатели наиболее существенно отличаются в пределах высоких уровней рельефа, которые расположены преимущественно вдоль западных границ Карелии. Так, по карте торфяного фонда заболоченность отдельных контуров здесь составляет 5 %, а по новой карте – до 40 %. Эти

данные, а также сведения, полученные в сетке квадратов 10 x 10 км, выявили площадь болот около 3,0, вместо 2,6 млн га (см. ранее).

### 3. УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАПАСОВ ОРГАНИКИ И УГЛЕРОДА В ТОРФЯНЫХ БОЛОТАХ

Прежде всего была создана БД по аккумуляции органики в геопозиционированных показателях, и разработаны приемы пересчета содержания

Таблица 4. Характеристика торфяных районов по цифровой карте болот Карелии, где торф: низинный (Н), переходный (П), верховой (В)

№ района	Площадь торфяного р-на, км <sup>2</sup>	Площадь торфяников, га	Тип залежи	Заболоченность, %	Средняя глубина, м	Запас торфа естественной влажности, тыс. т	Запас углерода, млн т
<b>1</b>	3 779,45	84 316	ПН	22,3	2,5	2 107 900	<b>138,1</b>
<b>2</b>	23 407,95	439 518	ПН	18,8	1,51	6 636 722	434,7
<b>3</b>	4 973,48	93 103	П	18,7	2,19	2 038 956	<b>129,5</b>
3,1	6 187,56	93 950	П	15,2	1,8	1 691 100	<b>107,4</b>
<b>4</b>	31 574,33	804 057	П	25,5	2	16 081 140	<b>1 021,2</b>
4,1	2 609,93	21 141	П	8,1	1,44	304 430	<b>19,3</b>
4,2	1 109,96	44 043	П	39,7	1,73	761 944	48,4
4,3	2 850,68	37 550	П	13,2	2,89	1 085 195	<b>68,9</b>
4,4	2 458,79	44 973	В	18,3	3,55	1 596 542	<b>100,6</b>
<b>5</b>	8 223,46	367 370	В	44,7	2,21	8 118 877	511,5
5,1	405,07	9 775	В	24,1	2,9	283 475	<b>17,9</b>
<b>6</b>	9 533,78	191 331	ВП	20,1	2,06	3 941 419	<b>250,3</b>
6,1	5 849,11	137 836	П	23,6	2	2 756 720	175,1
6,2	2 332,95	37 800	В	16,2	2,15	812 700	51,2
6,3	1 286,41	22 340	П	17,4	1,94	433 396	27,5
6,4	296,30	2 439	В	8,2	2,22	54 146	3,4
6,5	1 700,05	26 817	Н	15,8	1,82	488 069	32,0
6,6	2 997,68	26 403	П	8,8	2,16	570 305	36,2
<b>7</b>	4 714,39	30 183	Н	6,4	2,03	612 715	40,1
7,1	1 384,47	7 025	П	5,1	1,7	119 425	7,6
7,2	1 412,85	10 976	П	7,8	1,75	192 080	12,2
7,3	1 183,62	4 169	П	3,5	2,06	85 881	5,5
<b>8</b>	3 045,00	32 558	ПН	10,7	1,68	546 974	34,7
<b>9</b>	2 610,70	29 650	ВП	11,4	2,01	595 965	37,8
9,1	855,04	5 047	Н	5,9	2,36	119 109	7,8
9,2	81 940	19 950	В	24,2	2,41	480 795	30,3
9,3	1 076,03	8 372	ВП	7,8	2,17	181 672	11,5
9,4	395,84	4 829	Н	12,2	1,6	77 264	5,1
<b>10</b>	3 230,69	20 389	Н	6,3	2,05	417 975	27,4
10,1	6 317,77	205 351	В	32,5	2,61	5 359 661	337,7
10,2	6 596,15	77 570	ВП	11,8	2,45	1 900 465	120,7
10,3	1 681,00	11 600	П	6,9	4,07	472 120	30,0
<b>11</b>	4 801,00	2 092	В	0,4	2,21	46 233	2,9
	<b>151 706</b>	<b>2 954 523</b>		<b>0,4–44,7</b>	<b>2,2</b>	<b>60 971 370</b>	<b>3 885</b>

углерода по отдельным выделам. На электронной карте Карелии в каждой ячейке электронной сети (100 км<sup>2</sup>), по зарегистрированным в географических координатах растром карт М 1 : 100 000, проводился подсчет доли болот (в %), а затем и запасов углерода. Так был сформирован массив из 1702 ячеек<sup>8</sup>, обладающих разной величиной показателя заболоченности. Этим приемом была достигнута генерализация изображения распределения болот по территории Карелии.

Анализ материала выполнен по квадратам в пределах районов (подрайонов): по степени заболоченности, средней глубине торфяной залежи, запасу торфа естественной влажности и запасу углерода (табл. 4). Увеличение запасов углерода, как было сказано выше, отмечено в торфяных районах с расчлененным рельефом – чаще на западе Карелии. В таблице эти цифры выделены. Уменьшение показателей углерода характерно для районов, где болота трансформированы в сельхозугодья.

<sup>8</sup> Что примерно равно площади Карелии 172,4 тыс. км<sup>2</sup>.

На рис. 5 показаны две карты запасов углерода: А – по материалам карты торфяного фонда (табл. 3) и Б – по уточненным данным цифровой карты болот (табл. 4). Во многих контурах, на карте Б заметно увеличение запасов. Наибольший запас углерода сосредоточен в северной Карелии: на Прибеломорской низменности и моренной равнине северной Карелии (400–1 022 млн т) и моренных равнинах средней Карелии (200–400 млн т). Эти контуры находятся в пределах торфяных районов 5, 4 и 10. Итак, на уточненной площади болот (2,954 млн га) запас углерода составляет 3,9 млрд т.

#### 4. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ В ПОСЛЕДНИЕ 8000 ЛЕТ

При подключении программ ГИС-технологий к решению проблемы удалось получить представление о динамике заболачивания за последние 8000 лет. На первом этапе анализ

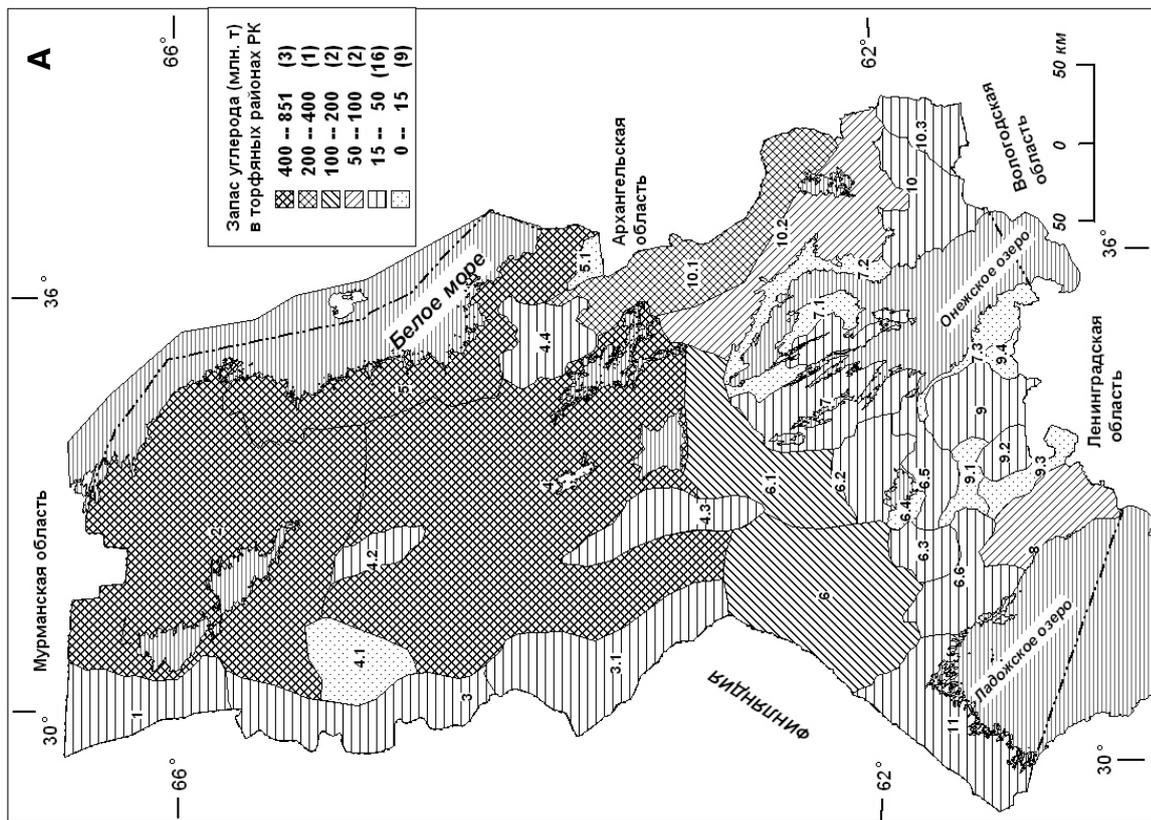
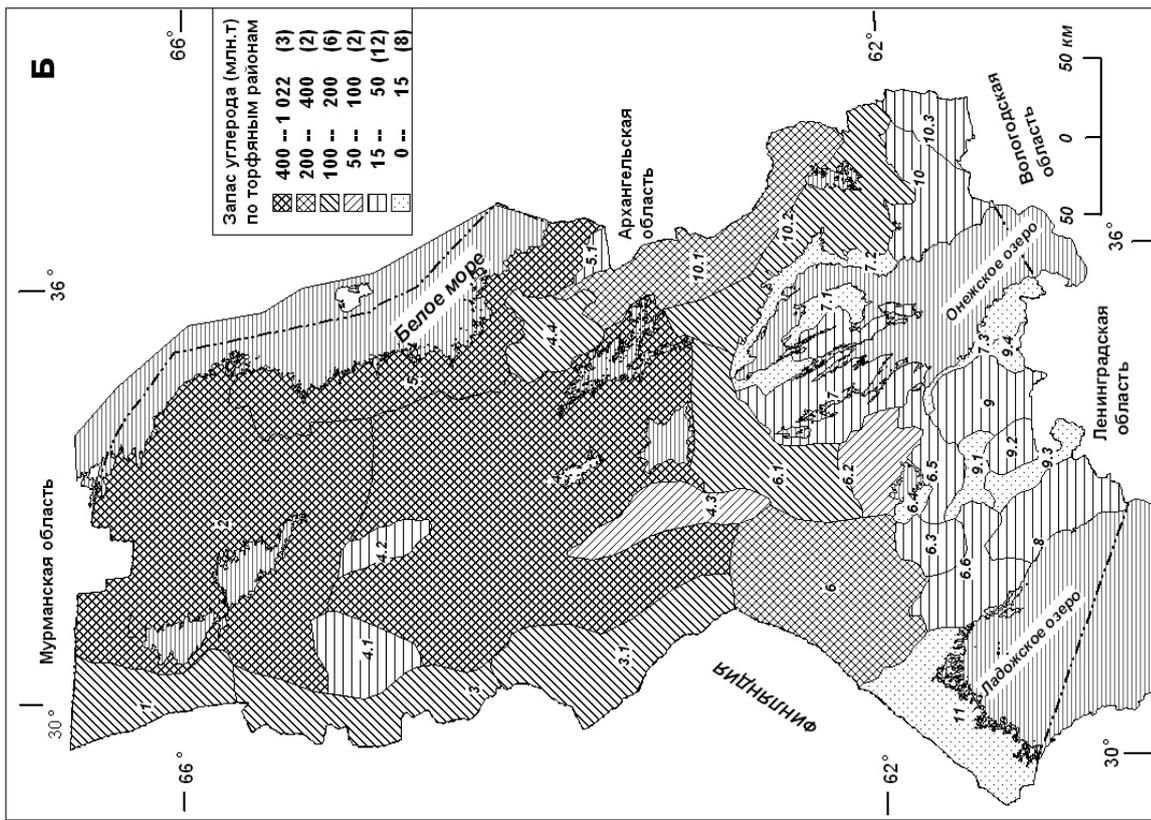


Рис. 5. Карта пространственного распределения запасов угля: А – по карте торфяного фонда, Б – по цифровой карте болот Карелии. Выделено 6 градаций районов по запасам угля. Количество однотипных районов приведено в скобках

проводился в пределах модельных территорий и на полигонах, достаточно хорошо обеспеченных крупномасштабными планами и с подробно изученными болотами. Для этого разработаны специальные приемы и впервые составлены карты для четырех временных срезов голоцена, отражающие динамику торфяных болот в пространстве и времени.

На основе распределения болот по территории Карелии была построена методом крикинга [Дэвис, 1990] карта пространственных выделов болот, отражающая самые общие закономерности процессов заболачивания и содержания углерода. Она представляет собой систему изолиний, отражающих изломы атрибутивного рельефа, т. е. величин статистической доли болот в некоторой совокупности ячеек картограммы заболоченности. Все приведенные ранее данные позволили рассчитать поправочные коэффициенты, позволяющие делать определенные обобщения в отношении запасов торфа и углерода в контурах.

В наших предыдущих исследованиях [Елина, 1981; Елина и др., 1984] были получены основные закономерности заболачивания территории Карелии в голоцене. Созданная тогда расчетная модель имитировала интенсивность вертикального роста, горизонтального наступления болот и накопления торфа в голоцене. Значения заболоченности были получены для каждого тысячелетия.

Установлено, что заболачивание территории Карелии шло с различной скоростью: от 190 до 755 га/год, в среднем 400 га/год. Наибольшей интенсивности оно достигало в период 7000–5000 л. н.; резкий спад процессов болотообразования отмечался в начале суббореала (4500–4000 л.н.), затем – подъем (3500 л.н.). Ближе к современности, после 2000 л.н., этот процесс опять несколько активизировался. В целом по Карелии было рассчитано [Елина и др., 1984] увеличение заболоченности территории (в среднем) в периодах голоцена. Так, в ВО она составляла 4 %, в АТ<sub>1</sub> – 7,5 %, в АТ<sub>2</sub> – 14 %, в АТ<sub>3</sub> – 20 %, в СВ – 24 %, в СА<sub>1</sub> – 28 %, в настоящее время – 30 %. Плавное повышение заболоченности продолжалось с 8000 до 6000 л.н., заметный «скачок» произошел 5500 л.н. Причиной такого скачка было увеличение показателей влажности и температуры [Климанов, Елина, 1984; Филимонова, Климанов, 2005].

Рассчитаны также значения прироста торфа (мм/год) для разных типов торфа и залежи [Елина и др., 1984], а отсюда и значения средней глубины торфа в разные периоды голоцена. Для этого пропорционально сравнивали их с конкретными значениями из 13-ти СПД, обес-

печенных 3 и более (до 40) датировок по С<sup>14</sup>. Получились такие цифры: при среднем значении глубины, равной 2,2 м в настоящее время (см. табл. 2), 2500 л.н. она составляла 2,1 м, 5000 – 1,3 м, 8000 – 0,2 м.

Материалы по интенсивности заболачивания (ИЗ) основаны на авторских данных [Елина, 1994; Елина и др., 2000]. Динамика ИЗ рассчитывалась на основании прямых (спорово-пыльцевые диаграммы и <sup>14</sup>С) и косвенных методов (зависимость вертикального прироста торфа от характера торфяной залежи). Было показано, что оценку показателей заболачивания и накопления торфа рациональнее всего проводить на полигонах, репрезентативно отражающих степень заболоченности, набор типов болот и торфяных залежей в пределах определенных форм рельефа. Определение ИЗ проведено по двум показателям: степени заболоченности территории и возрасту торфяных болот. Сравнимость всех полученных данных достигалась через использование определенной единицы площади (П) – 1000 га.

Изучены пять полигонов из разных типов рельефа: 1. «Нюхча», рельеф – морская равнина (заболоченность – 63 %); 2. «Калгалакша» – сочетание денудационно-тектонических гряд с моренными равнинами (45 %); 3. «Лоухи» – рельеф грядовой денудационно-тектонический (30 %); 4. «Костомукша» – рельеф тот же (16–25 %); 5. «Маанселькя» – рельеф крупный грядовой (10 %). Полученные данные показывают достоверную картину зависимости ИЗ от типа рельефа. Наибольшую ИЗ имеют слабоволнистые низменные сильно заболоченные равнины, сравнительно недавно освободившиеся от морских вод (в среднем 2300–740 м<sup>2</sup>/год). Наименьший показатель ИЗ присущ крупно-грядовому рельефу с малой степенью заболоченности (115 м<sup>2</sup>/год). В условиях волнистых равнин и мелкого грядового (сельгового) рельефа возвышенных равнин ИЗ средняя, и она достаточно близка в двух полигонах (486–226 м<sup>2</sup>/год).

На приведенные данные можно опираться и в современных исследованиях по оценке динамики заболачивания в голоцене территории Карелии, уточняя их в соответствии с новыми данными по картированию конкретных МТ [Елина и др., 2005].

Для примера приводятся исследования по двум МТ. Так, на **Шуйской равнине** озерно-ледникового генезиса подробно изучены болота стационара Киндасово [Елина, 1977; Елина, Чачхиани, 1978; Елина, Лак, 1979, 1980]. Полученные значения заболоченности в разные временные срезы преломлены в картографические

изображения [Елина и др., 2005]. Объективность полученных данных обеспечивалась многочисленными стратиграфическими профилями и достаточным количеством буровых скважин. На верхнем уровне рельефа (выше 100 м над у.м.) преобладают болота с мощностью залежи 5 м и более, а их возраст достигает 8000 лет. На нижнем – глубины не превышают 2 м, а возраст составляет примерно 2000 лет. Заболоченность на верхних уровнях рельефа постепенно увеличивалась: 8000 л.н. – 5 % и 1,0 м → 6000 л.н. – 11 % и 2,0 м → 3500 л.н. – 17 % и 1,0 м → 2000 л.н. – 24 % и 1,0 м → настоящее время – 39 %. В нарастающем измерении глубины соответствовали: 1,0 → 3,0 → 4,0 → 5,0 м.

Подобная работа была проведена также для сильно заболоченного полигона Колежма, расположенного на юго-востоке **Прибеломорской** низменности; заболоченность в настоящее время на морской равнине достигает 60–70 %, а дальнейшие расчеты также основаны на конкретных стратиграфических профилях [Елина, 1971, 1994]. По мере углубления в прошлое каждый контур становился все меньше. Так, было установлено, что 6000 и 3500 л.н. заболоченность была довольно низкой, причем не только за счет меньшей площади болот, но и из-за более высокого уровня моря, которое заполняло нижние террасы низменности (рис. 6). Кроме того, были привлечены и другие данные по изученным полигонам (табл. 5).

Таблица 5. Динамика заболоченности в разных типах рельефа

Регион	Заболоченность (%) л.н.					
	8000	7000	6000	3500	2000	н. в.
1. МТ «Сямозеро»	2	3	3–8	3–11	5–22	22–37
2. МТ «Костомукша»	1	2	4	8–12	20	30
3. Полигон «Колежма»	0,5	1	4	7	11	13
4. МТ «Прибеломорье»	0	5	15	25	35	45–60
<b>Средние по Карелии</b>	<b>4</b>	<b>7–8</b>	<b>14–20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>30</b>

Примечание. 1 – моренная равнина; 2 – грядовый рельеф; 3 – флювиогляциальный рельеф; 4 – морская равнина

Дальнейший анализ пространственно-временного распределения торфяных болот выполнялся на картограммах регулярных квадратов. Если вместе с пространственными координатами рассматривать и время, то можно создать карты, отражающие поступательный процесс заболочивания. В настоящей работе расчеты сделаны для четырех временных срезов: 8000, 6000, 4000 и 2000 л.н. (рис. 7). Доля болот при составлении этой серии карт рассчитывалась по сети равновеликих квадратов [по: Токарев, 1998] и по литературным данным, приведенным выше [Елина, 1981; Елина и др.,

1984]. Такие подходы нами впервые использованы для наглядного представления динамики заболочивания территории Карелии. На фоне общего возрастания заболоченности четко видна пространственная ее гетерогенность, обусловленная геоморфологическими условиями территории Карелии. Отчетливо видно, как увеличивалась заболоченность территории от 8000 к 2000 л.н. (см. рис. 7, табл. 6).

Как видно, 2000 л.н. преобладали выделы со средней степенью заболоченности, 4000 л.н. – со средней и малой, 6000 л.н. – с малой, 8000 л.н. – с очень малой. Если сравнить положение выделов на картах голоцена, увидим достаточно четкую связь их с типами рельефа. Таким образом, хорошо прослеживается во времени тенденция более раннего заболочивания территории с расчлененным рельефом.

Таблица 6. Степень заболоченности и количество соответствующих выделов на картах 4-х временных срезов (рис. 7)

Заболоченность, %	Количество выделов			
	2000 л.н.	4000 л.н.	6000 л.н.	8000 л.н.
40–50	2	0	0	0
30–40	3	2	1	0
20–30	10	11	2	0
10–20	12	9	14	2
5–10	8	10	13	13
0–5	1	4	6	21
контур	Σ = 36			

Опираясь на приведенные данные, вполне можно рассчитать запасы органики и углерода в отдельные периоды голоцена. Но мы не ставили такой цели в настоящей статье, стремились лишь показать пути возможных дальнейших исследований с применением ГИС-технологий.

## Заключение

Стратегия исследований основана на учете всех достижений, полученных авторами за последние 40 лет. Все это время развивались представления о динамике природных процессов. В настоящем исследовании новым является использование ГИС-технологий для анализа огромного фактического материала по «болотно-торфяной» тематике с интерпретацией его в тематические карты разного масштаба и разного содержания.

Созданная нами компьютерная БД является открытой для обновления сведений и постоянно пополняется, что и позволяет сделать более объективными карты по запасам углерода, с детальной проработкой по отдельным торфяным районам. Последнее обеспечивается введением новой информации, полученной по космо-

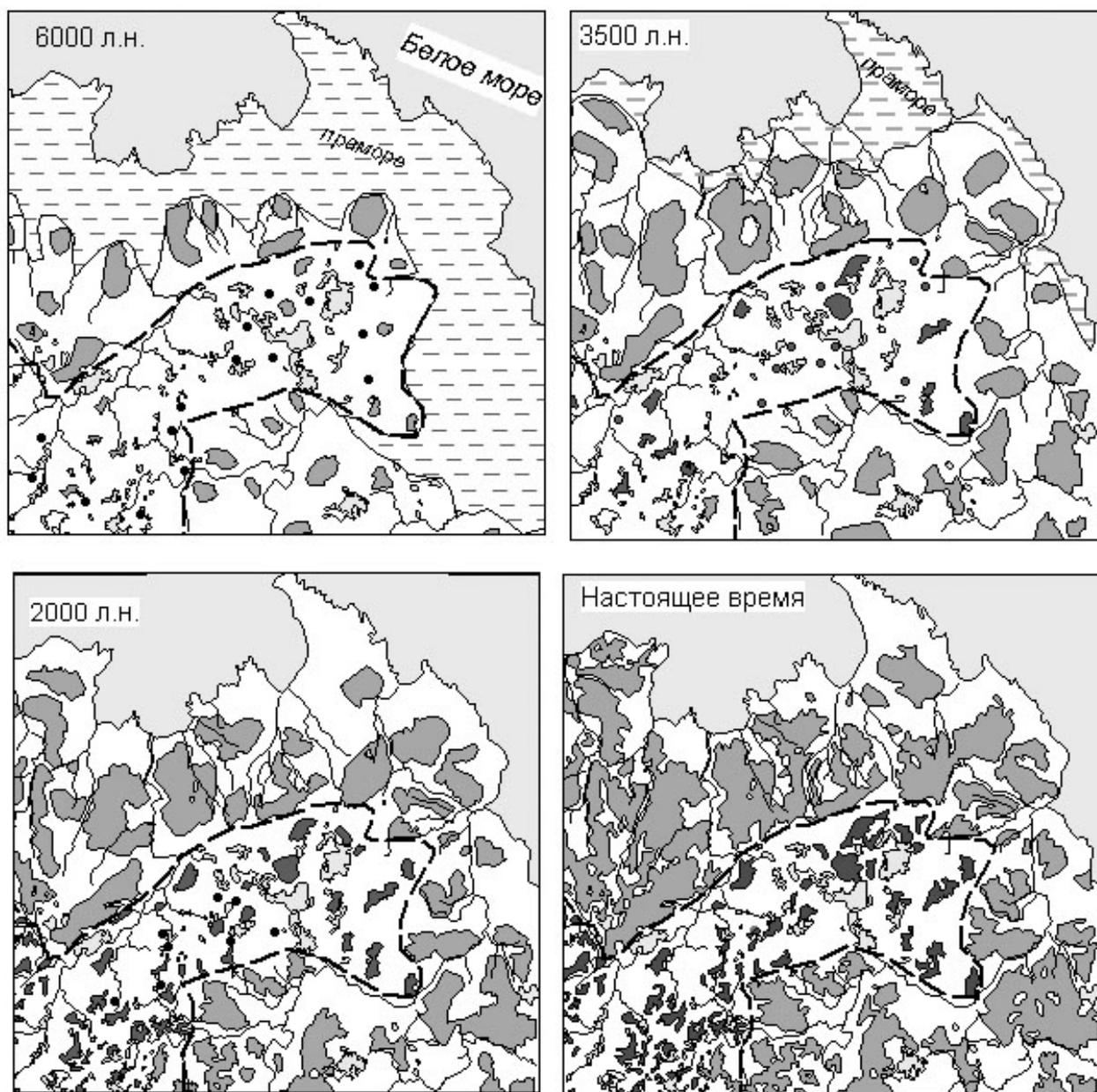


Рис. 6. Динамика заболачивания полигона «Колезма» (юго-восток Прибеломорской низменности).

Заболоченность 6000 л.н. на морской равнине составляла 15 %, на аккумулятивной возвышенности – 4 %; 3500 л.н. – 25 и 7 %; 2000 л.н. – 35 и 11 %; в настоящее время 45 – 60 и 13 % соответственно. Контуром показаны болота площадью более 100 га, бесконтурные (менее 100 га) – точками. Штриховая линия разделяет Прибеломорскую низменность и аккумулятивную возвышенность

снимкам, аэрофотоснимкам и планшетам, а также обширным данным наземных исследований.

Наши же разработки направлены на пространственно-временное отражение накопления запасов углерода в обобщенных и тематических картах. Предложенная нами методология, несомненно, дает высокорепрезентативный результат по аккумуляции органики и углерода, значительно превосходящий по доказательной базе известные из современной литературы сведения. Кроме того, проводится уточнение заторфованности и заболоченности террито-

рии с помощью космо- и аэроснимков. В результате, запасы углерода устанавливаются в пределах торфяных районов и геоморфологических выделов, что представляется полностью оригинальным и новым. Этому способствуют и рассчитанные поправочные коэффициенты, позволяющие делать определенные обобщения в отношении запасов торфа и углерода в отдельных контурах.

Процесс депонирования углерода с начала голоцена идет с различной интенсивностью в зависимости от геоморфологических условий.

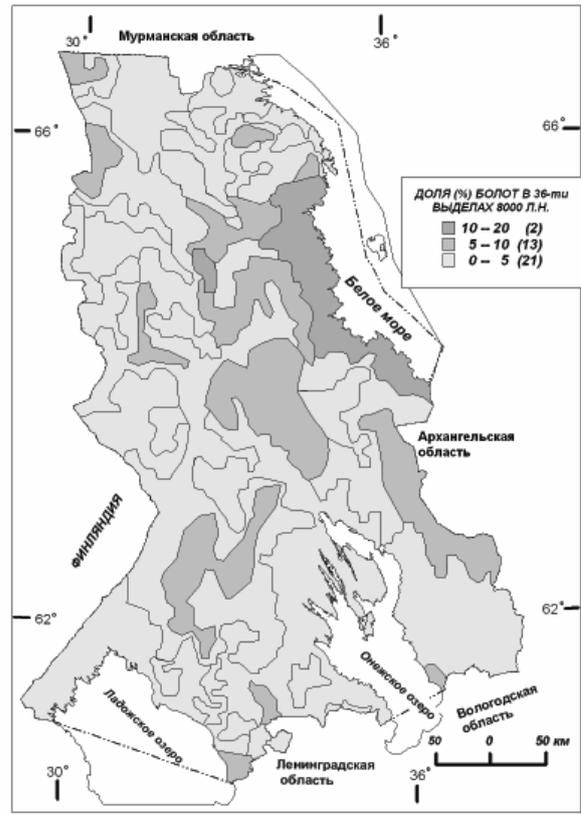
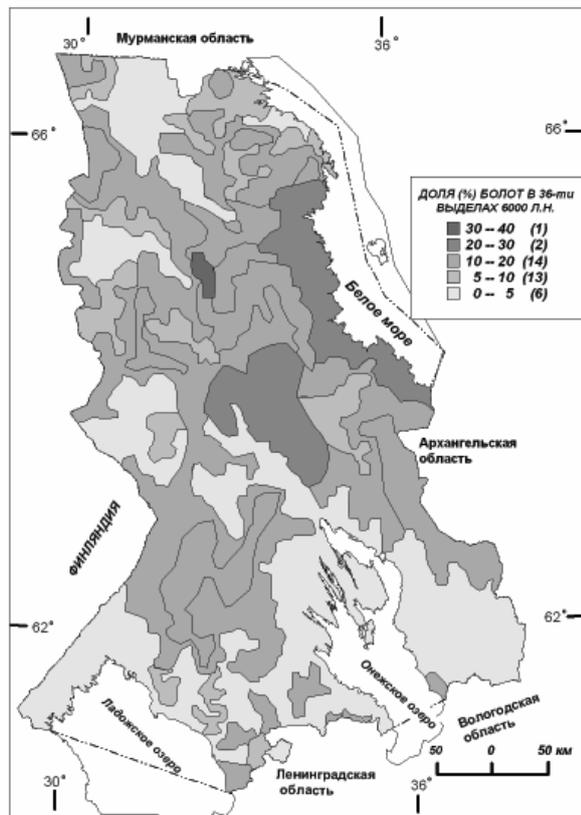
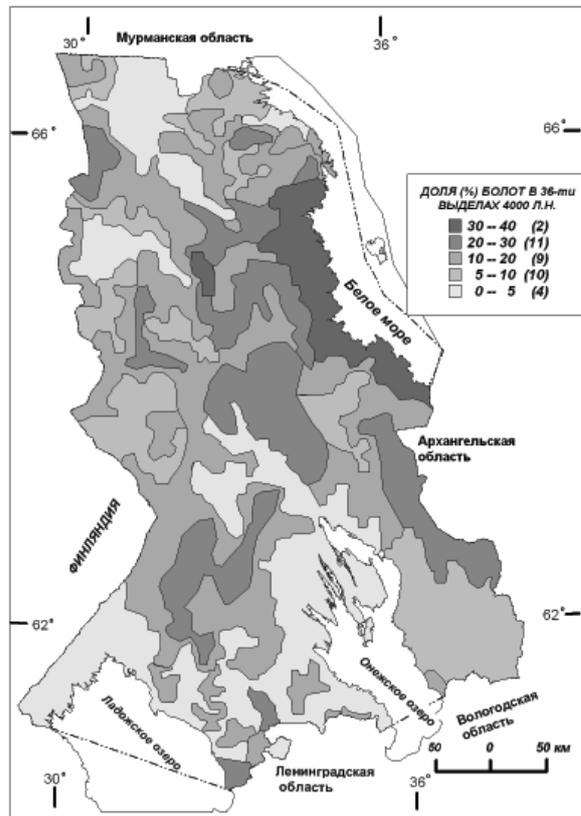
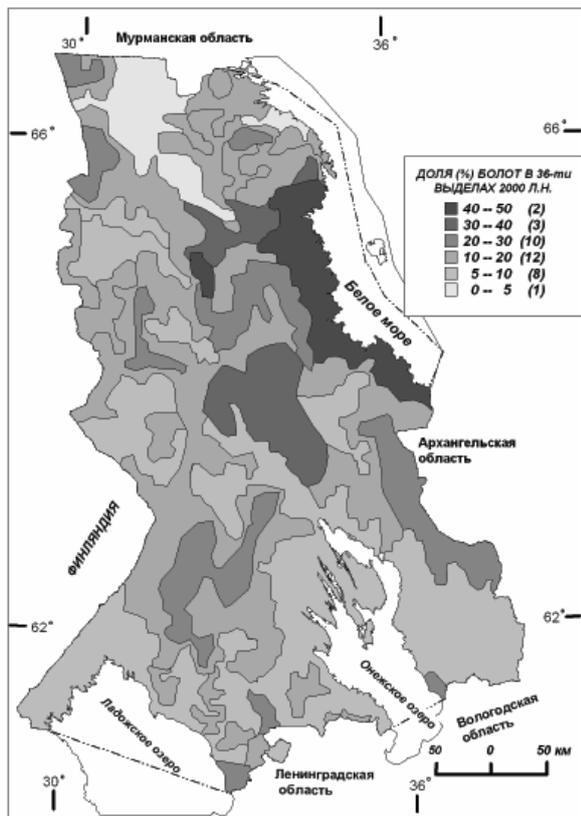


Рис. 7. Серия карт, показывающая изменение степени заболоченности по временным срезам: 2000, 4000, 6000, 8000 л.н.

Карта заболоченности для 8000 л.н. наиболее проблематична, так как, по данным геологов [Девятова, 1976; Лукашов, 2000], в это время значительную часть Прибеломорской низменности занимало море (бореальная трансгрессия)

Показано, что на фоне общего возрастания заболоченности от начала голоцена до настоящего времени четко выделяется пространственная ее гетерогенность, обусловленная геоморфологическими условиями территории Карелии.

Все перечисленные выше данные позволили установить, что содержание углерода в торфяниках Карелии составляет около 1 % от общего содержания углерода в северных торфяниках Земли [Gorham et al., 1991].

Самостоятельное научное значение имеют электронные карты торфяного фонда и растительности болот, которые могут использоваться так же и в виде интерпретации в другие тематические карты. Кроме того, впервые использован метод динамического картографирования экосистем.

## Литература

- Антипин В. К., Елина Г. А., Токарев П. Н., Бразовская Т. И. Болотные экосистемы Национального парка «Водлозерский»: прошлое, настоящее, будущее // Ботан. журн. 1996. Т. 81, вып. 1. С. 21–37.
- Антипин В. К., Тарасенко В. В., Токарев П. Н. Тематическая база данных «болотные экосистемы» Геоинформационной системы Национального парка «Водлозерский» // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем восточной Фенноскандии: Тр. КарНЦ РАН. Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 79–93.
- Антипин В. К., Токарев П. Н. Разработка методики составления электронных картографических баз данных растительных ресурсов болот Карелии // Тр. КарНЦ РАН. Сер. Биогеография. Вып. 12. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 3–8.
- Вомперский С. Э., Сирин А. А., Валяева Н. А., Майков Д. А. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Известия РАН. 2005. Сер. Географ. № 5. С. 39–50.
- Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Т. 1. М.: Недра, 1990. 319 с.
- Галкина Е. А. Типы болот Тунгудского района АКССР // Геоботаника. 1936. Вып. 3. С. 307–344.
- Громцев А. Н. Ландшафтная экология таежных лесов. Теоретические и прикладные аспекты. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 143 с.
- Елина Г. А. Типы болот Прибеломорской низменности Карелии // Болота Карелии и пути их освоения. Петрозаводск, 1971. С. 51–79.
- Елина Г. А. Типы болотных массивов северной Карелии // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука, 1974. С. 69–77.
- Елина Г. А. Типы болот Шуйской равнины // Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1977. С. 5–18.
- Елина Г. А. Принципы и методы реконструкции и картирования растительности голоцена. Л.: Наука, 1981. 159 с.
- Елина Г. А. Динамика болотообразования на северо-западе России в голоцене // Биогеоэкологические особенности болот и их рациональное использование: Чтения памяти академика В. Н. Сукачева. Т. XI. М.: Наука, 1994. С. 61–84.
- Елина Г. А., Антипин В. К. Эндо- и экзогенные сукцессии растительности болот бассейна Онежского озера в голоцене // Ботан. журн. 1992. Т. 77, № 3. С. 16–29.
- Елина Г. А., Кузнецов О. Л. Типы болот, их использование и охрана // Биологические ресурсы района Костомукши, пути освоения и охраны. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1977. С. 5–23.
- Елина Г. А., Кузнецов О. Л. Растительный покров Паанаярвского национального парка и его динамика в позднеледниковье-голоцене // Природа и экосистемы Национального парка «Паанаярви». Тр. КарНЦ РАН. Сер. Б. «Биология». Вып. 3. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 20–29.
- Елина Г. А., Кузнецов О. Л. История и современное состояние исследований болот Карелии (55 лет лаборатории болотных экосистем) // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы, охрана. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 11–34.
- Елина Г. А., Лак Г. Ц. Происхождение и развитие болот Шуйской равнины (южная Карелия) в голоцене // Исследование торфяных месторождений. Калинин: Калининский политех. институт, 1979. С. 18–24.
- Елина Г. А., Лак Г. Ц. Развитие болот и лесов в Шуйской равнине в голоцене // Болота Европейского Севера СССР. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1980. С. 18–24.
- Елина Г. А., Чачхиани В. Н. Динамика растительности болот Шуйской равнины // Генезис и динамика болот. М.: МГУ, 1978. Вып. 1. С. 55–59.
- Елина Г. А., Янковская В., Кузнецов О. Л. Реконструкции растительности и природных условий голоцена Паанаярвского национального парка (Карелия) по данным палинологического и планктонного (Algae, Fungi, Rhizopoda, Rotatoria) анализов // Ботан. журн. 1998. Т. 83, № 7. С. 23–35.
- Елина Г. А., Кузнецов О. Л., Максимова А. И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984. 128 с.
- Елина Г. А., Лукашов А. Д., Юрковская Т. К. Позднеледниковье и голоцен восточной Фенноскандии (палеорастительность и палеогеография). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 242 с.
- Елина Г. А., Лукашов А. Д., Токарев П. Н. Картографирование растительности и ландшафтов на временных срезах голоцена таежной зоны восточной Фенноскандии. СПб.: Наука, 2005. 112 с.
- Елина Г. А., Филимонова Л. В., Кузнецов О. Л. и др. Влияние палеогидрологических факторов на динамику растительности болот и аккумуляцию торфа // Ботан. журн. 1994. Т. 79, № 1. С. 53–69.
- Елина Г. А., Токарев П. Н., Лукашов А. Д. Палеоландшафты таежной зоны в голоцене: картографирование с использованием ГИС-технологий // Наземные и водные экосистемы Северной Европы: управление и охрана. Матер. междунар. конф., посв. 50-летию ИБ КарНЦ РАН (Петрозаводск, 8–11

сентября 2003 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 47–54

*Климанов В. А., Елина Г. А.* Изменение климата на северо-западе Русской равнины в голоцене // ДАН СССР. 1984. Т. 274. № 5. С. 1164–1167.

*Коросов А. В., Коросов А. А.* Техника ведения ГИС: приложение в экологии: Учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 186 с.

*Косов В. И., Беляков А. С., Белозеров О. В., Гогин Д. Ю.* Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология. СПб.: Наука, 2007. 451 с.

*Кузнецов О. Л.* О развитии аапа болот северной Карелии // Болота Европейского Севера СССР. Петрозаводск, 1980. С. 92–113.

*Кузнецов О. Л.* Структура и динамика грядово-мочажинных комплексов аапа болот // Ботан. журн. 1982. Т. 67, № 10. С. 1394–1400.

*Кузнецов О. Л., Елина Г. А.* Болота северо-западной Карелии и история их формирования // Комплексные исследования растительности болот Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1982. С. 13–29.

*Кутенков С. А.* Классификация болотных лесов среднетаежной подзоны Карелии // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем восточной Фенноскандии. Тр. КарНЦ РАН. Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 47–64.

*Кутенков С. А.* Растительность болотных лесов среднетаежной подзоны Карелии // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана. Матер. междунар. симпозиум. Петрозаводск, 2006. С. 145–171.

*Лепин Л. Я.* Торфяной фонд Карельской АССР // Торфяной кадастр РСФСР: Карельская АССР. М.: Гл. управление торфяного фонда при СМ РСФСР и Ин-т биологии Карельского филиала АН СССР, 1957. С. 5–25.

*Лукашов А. Д.* Новейшая тектоника Карелии. Л.: Наука, 1976. 108 с.

*Лукашов А. Д.* Геоморфологические особенности территории // Биоразнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 16–27.

*Максимов А. И.* Содержание макро- и микроэлементов в торфяных залежах болотных экосистем вблизи месторождения Падма // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 72–81.

*Пьявченко Н. И., Коломыцев В. А.* Влияние осушительной мелиорации на лесные ландшафты Карелии // Болотно-лесные системы Карелии и их динамика. Л.: Наука, 1980. С. 52–77.

*Токарев П. Н.* Разработка методики составления «Карты распределения болот Карелии» в системе регулярных квадратов 10 x 10 км // Биоразнообразие, динамика и охрана болотных экосистем восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 132–134.

*Токарев П. Н.* Разработка методики компьютерного выявления типов болотных участков по наземным (геоботаническим) и дистанционным признакам на основе современных геоинформационных технологий // Актуальные проблемы геоботаники.

Современные направления исследований в России: методологии, методы и способы обработки материалов: школа-конференция. Петрозаводск, 2001. С. 185–186.

*Токарев П. Н.* Разработка методики дешифрирования на космоснимках основных типов болотных участков Карелии с использованием материалов наземных дистанционных исследований на основе ГИС-технологий // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем восточной Фенноскандии. Тр. КарНЦ РАН. Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 65–78.

Торфяной фонд Карельской АССР. М.: Гл. управление торфяного фонда при СМ РСФСР и Ин-т биологии Карельского филиала АН СССР, 1957. 200 с.

Торфяные месторождения Карельской АССР. М.: Мин. геологии РСФСР, 1979. 464 с.

*Филимонова Л. В.* Комплексное использование различных методов при реконструкции палеогеографии позднеледниковья и голоцена среднетаежной подзоны Карелии // Методические аспекты палинологии: материалы X Всерос. палинологической конф. М.: Ин-т геологии и разработки горючих ископаемых, 2002. С. 264–266.

*Филимонова Л. В., Климанов В. А.* Изменение количественных показателей палеоклимата в среднетаежной подзоне Карелии за последние 11000 лет // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем восточной Фенноскандии. Вып. 2. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 112–120.

*Юрковская Т. К.* Краткий очерк растительности болот средней Карелии // Торфяные болота Карелии. Петрозаводск: Гос. изд-во Карельской АССР, 1959. С. 108–124.

*Юрковская Т. К.* Типы болот Лоухского района КАССР // Болота и заболоченные земли Карелии. Петрозаводск, 1964. С. 34–71.

*Юрковская Т. К.* Схема болотного районирования северной Карелии // Очерки по растительному покрову Карельской АССР. Петрозаводск: Изд-во «Карелия», 1971. С. 177–193.

*Юрковская Т. К., Елина Г. А.* Картографический анализ болот северо-востока Карелии // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем восточной Фенноскандии. Тр. КарНЦ РАН. Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 6–14.

*Crill P., Hargreaves K., Korhola A.* The Role of Peat in Finnish Greenhouse Gas Balances. Helsinki, 2000. 71 p.

*Gorham E.* Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. Ecological Applications. 1991. Vol. 1. P. 182–195.

*Mäkälä M., Saarnisto M., Kankainen T.* Aapa mires as a carbon sink and source during the Holocene // Journal of Ecology. 2001. Vol. 89. P. 589–599.

*Kuznetsov O. L.* Mires and peat resources in the republic of Karelia, Russia // Global peat resources. 1996. P. 133–136.

*Turunen J., Tomppo E., Tolonen K., Reinikainen A.* Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions // The Holocene. 2002. Vol. 12, N 1. P. 69–80.

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

### **Елина Галина Андреевна**

главный научный сотрудник, д. б. н.  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: elina@bio.krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 561679

### **Токарев Павел Никандрович**

главный биолог  
Институт биологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: tokarevnp@mail.ru  
тел.: (8142) 561679

### **Elina, Galina**

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian  
Academy of Science  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: elina@bio.krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 561679

### **Tokarev, Pavel**

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian  
Academy of Science  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: tokarevnp@mail.ru  
tel.: (8142) 561679