



**КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА  
НА ТЕРРИТОРИИ  
РОССИИ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЦНТИ "ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ  
ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ  
НАУКИ И ТЕХНИКИ  
ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ"

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ:  
"ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ"

**ИТИ "ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ  
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА"**

Избранные научные труды по проблеме:  
"Глобальная эволюция биосферы.  
Антропогенный вклад"

под общей редакцией  
академика Г. А. Заварзина



**GLOBAL CHANGES OF ENVIRONMENT  
AND CLIMATE**

Москва, 1999

# ЗАБОЛОЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ КАК ФАКТОР СВЯЗЫВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА

*С.Э. Вомперский, О.П. Цыганова, А.Г. Ковалев, Т.В. Глухова, Н.А. Валяева*

## Введение

Как известно, недостаток свободного кислорода при избыточном увлажнении почвы замедляет деструкцию растительного опада, обуславливая процесс торфообразования. Накопленный за определенное время торф свидетельствует о количестве связанного углерода, т.е. взятого экосистемой из атмосферы и невозвращенного ею обратно. Такой функциональной особенностью болот придается очень важное значение в борьбе с парниковым эффектом климата. В то же время в глобальных оценках углеродного пула биоты заболоченные и болотные земли рассматриваются как главный источник ошибок (Schlesinger, 1977; Парниковый эффект..., 1989). В полной мере это относится и к России. Сведения о заболоченности ее земель и их роли в углеродном цикле неполны и противоречивы (Розов, 1962; Тюремнов, 1976; Kivinen, Pakerinen, 1981; Kolchugina et. al., 1992; Боч и др., 1994; Вомперский и др., 1994; Ефремов и др., 1995/1994).

**В настоящей работе подводится итог исследований, целью которых было:**

- оценить масштабы заболоченности земель России, пространственное размещение болот, запасы торфа и углерода в нем;
- обобщить абсолютные датировки торфяных отложений и выявить особенности торфонакопления в разных регионах ;
- исследовать взаимосвязь глубины торфа болот и среднего вертикального прироста торфяников;
- оценить среднемноголетнее в голоцене и второй его половине (SA, SB) годовое связывание углерода болотами России.

## Методика работы

Определение площадей заболоченных земель и болот производилось по их изображению на "Почвенной карте РСФСР", М 1 : 2.5 млн. (1988) с распределением по трапециям 1° широты и

2° долготы.

Учитывались только те почвы, в профиле которых имеется торфяной слой около 10 см и более. Обширное разнообразие генетических видов, типов и групп торфянистых, торфяных, болотных почв, а также комплексов почв с участием болотных (на карте их 53 названия) в нашем учете сведено до 16, по которым для всей страны определены площади, глубины и запасы торфа (Вомперский и др., 1994).

Оценка запасов торфа болот глубиной более 0.5 м делалась на основе учтенных торфяных месторождений по состоянию на 1.01.1991 согласно "Балансу запасов полезных ископаемых России на 1 января 1991 года" (1992). Мы допустили, что все болота с глубиной более 0.5 м, отображаемые картой, являются ресурсными, т.е. "месторождениями торфа" со слоем его не менее 0.7 м. Расчет средней глубины и объемной массы торфа базировался на данных серии "Торфяные ресурсы" (1970-1990 гг.) по различным областям. Для мелкоотторфованных (до 0.5 м) земель объем отложений определялся умножением площади картографических контуров разных заболоченных почв на свойственную им глубину. Для более детальных сведений о методике этой части исследований отсылаем читателя к упомянутой публикации (Вомперский и др., 1994).

Мы попытались собрать и проанализировать практически все имеющиеся в России датировки возраста торфяных отложений (несколько сотен) по изотопу  $^{14}\text{C}$  (Бюллетени комиссии по изучению четвертичного периода, фонды радиоуглеродных лабораторий, научные публикации). К сожалению, основная масса этих материалов не отвечала задаче определения прироста торфяников, так как большинство датировок торфов не сопровождалось необходимыми сопутствующими сведениями: описанием болота (растущее оно или это разрушающееся торфяное обнажение, тип болота, геоморфологическое положение и др.), указанием принадлежности датированного образца к базальному слою торфяника и т.п. Кроме того, нередко датировки относились к погребенным торфам, естественно дренированным, антропогенно нарушенным болотам, либо казались явно ошибочными. В настоящей работе исследуются только данные, не вызвавшие у нас сомнений. К сожалению, определения возрастов болот сосредоточены главным образом в нескольких регионах России и очень мало колонок с датировками по профилю болот, раскрывающими их рост в разные периоды голоцена.

Для выявления характера взаимосвязи глубины и вертикального прироста торфяников мы также использовали радиоуглеродные датировки болот Канады, Финляндии и других стран.

К сожалению, недостаточная изученность наших болот в разных регионах вынуждает нас прибегать и к некоторым экспертным оценкам, в частности, годичного прироста торфяников. Однако, мы стремились, по возможности, объяснить соображения, учитывавшиеся при назначении той или иной оценки.

## Результаты исследований и их обсуждение

### 1. Заболоченность территории России, запасы торфа и углерода в нем

Мы уже упоминали, существует большое несогласие количественных оценок заболоченности территории России и тем более мощности торфяных отложений.

Н. Розов (1962), исходя из почвенных карт масштабов 1:4 млн. и 1:10 млн. установил для б.СССР (включая и тундры) площадь заболоченных оторфованных земель 187 млн.га, в том числе болот с торфяным слоем более 50 см - 102 млн. га. Ряд авторов, исходя из материалов разведки торфяных месторождений объединением "Торфгеология", оценивал их площадь для б.СССР и РСФСР соответственно: 83 и 77 млн.га (Тюремнов, 1976), 86 и 80 млн.га (Торфяные ресурсы..., 1988).

Существуют экспертные (т.е. не имеющие объективной или объясненной методики) оценки площадей заболоченных и болотных почв б.СССР: 200 млн. га (Романов, 1961), 180 млн. га (без лесотундры и тундры) в т.ч. 150 млн.га в лесной зоне (Пьявченко, Сабо, 1962). Ссылаясь на эту работу, L. Neikurainen (1964) неверно процитировал цифру 150 млн.га как относящуюся ко всей территории бывшего СССР. Цифра 150 млн.га болот бывшего СССР приведена (Kivinen, Paakarinen, 1981) без объяснения, как она получена. Н.И. Пьявченко (1963) еще раз экспертно назвал площадь оторфованных земель б.СССР - 211 млн. га (без тундры). На основе данных учета лесного фонда б. СССР была сделана оценка всех заболоченных почв и болот лесохозяйственного назначения (без тундры и лесотундры; без болот, находящихся в ведении сельского хозяйства) - 245 млн.га (Сабо и др., 1981), правда, в нее вошли частично и неотрфованные заболоченные почвы. Как видим, разброс оценок велик.

Приходится сожалеть, что в последние годы, когда актуализировалась задача оценки углерододепонирующей функции болот, многие авторы вводят в оборот соответствующие данные по России (или бывшему СССР), скрывая способы определения как самих площадей болот, так и глубин торфа. Итоговые оценки, включая углеродный пул, являются по существу экспертными, не поддающимися проверке. Так, согласно поздним оценкам М. Боч и др. (1994); M. Botch et al. (1995) площадь болот б.СССР - 160 млн. га<sup>\*</sup>, а по С.Ефремову и др. (1995/1994)<sup>\*\*</sup> и S. Efremov et al. (1998) только безлесные болота одной России занимают 273 млн.га. Соответствующие средние глубины торфа (по нашим расчетам из данных этих публикаций) в первом случае - 2.2 м, а во втором - 1.0 м. Конечно, трудно доверять столь противоречивым и никак не объясненным оценкам.

Как было нами установлено (Вомперский, 1994; Вомперский и др., 1994), согласно

<sup>\*</sup>Ранее эти авторы исходили из 83 млн. га болот (Kolchugina et al., 1992);

<sup>\*\*</sup>В книге, подписанной к печати 20.01. 1995, но на титульном листе - 1994 г.

“Почвенной карте РСФСР” (1988) в России имеется 139 млн. га болот (слой торфа >30 см).

На рис. 1 представлено их размещение по территории, из которого видно, что большая часть болот сосредоточена в Западно-Сибирской низменности (где они занимают до 70 -90% площади трапеций), на севере страны, в таежной зоне Европейской части России и на Дальнем Востоке. Громадной оказалась площадь заболоченных земель (со слоем торфа до 30 см) - 230 млн.га. Таким образом, вместе болотные и заболоченные оторфованные земли составляют 369.1млн.га (табл. 1), т.е. 21.6% территории страны.

**Таблица 1. Покрытые торфом избыточно увлажненные земли России согласно “Почвенной карте РСФСР” М 1:2.5 млн. (1988)**

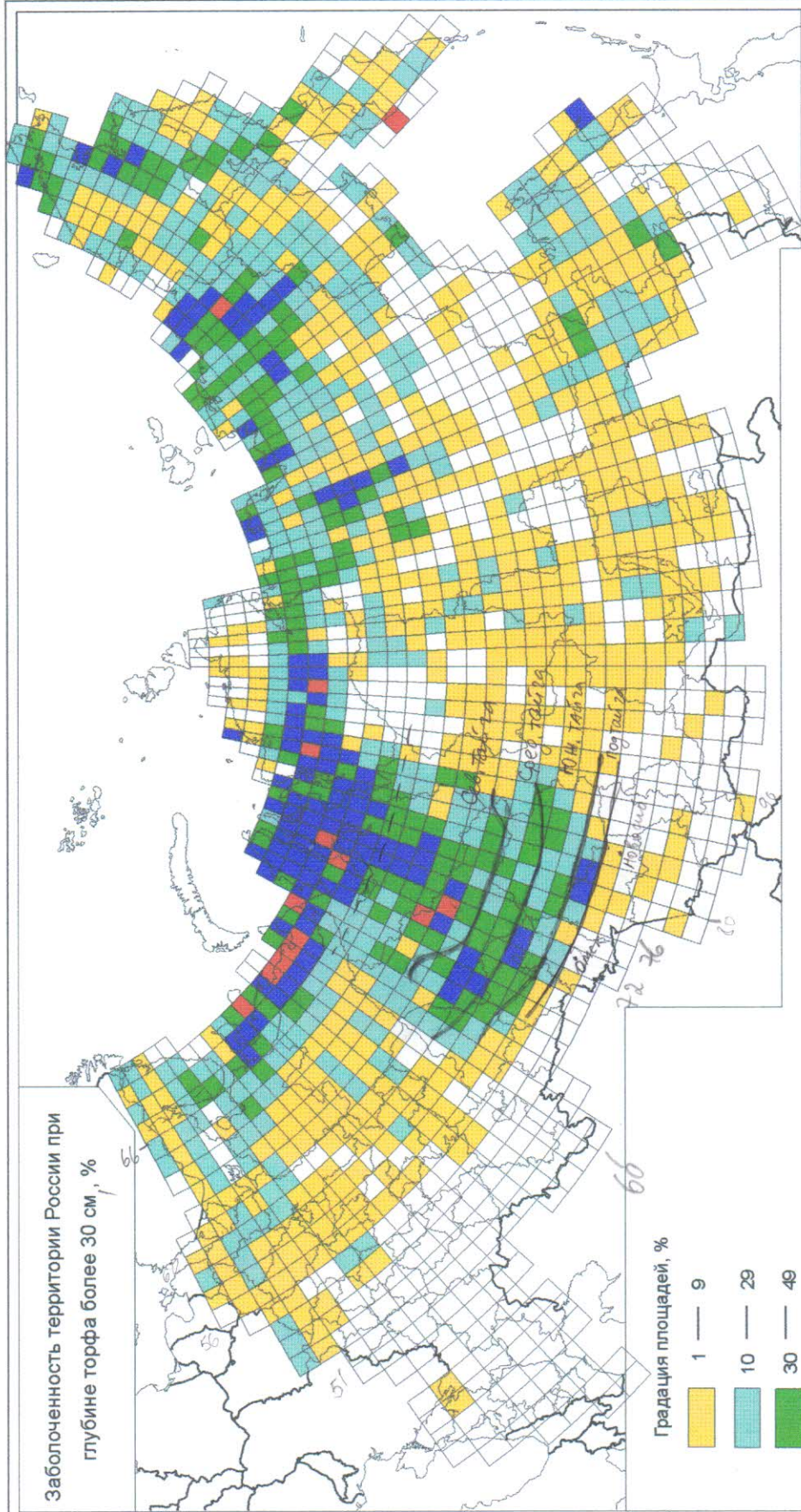
Географические части страны	Слой торфа				Всего	
	≤ 30см		> 30 см		млн.га	%
	млн.га	%	млн.га	%		
РОССИЯ в целом	230.1	100	139.0	100	369.1	100
в том числе:						
Европейская часть	37.5	16	21.3	15	58.8	16
Азиатская часть	192.6	84	117.7	85	310.3	84
Тундра, лесотундра	60.5	26	45.7	33	106.2	29
Тайга и др. зоны	169.6	74	93.3	67	262.9	71
Область вечной мерзлоты	179.7	78	90.9	65	270.6	73
Западно-Сибирская низменность	40.8	18	58.3	42	99.1	27

Как видно из табл. 1, большинство оторфованных земель приходится на азиатскую часть страны (84%), область вечной мерзлоты (73%) и тайгу (71%).

Прослеживается явно большая приуроченность заболоченных почв к зоне вечной мерзлоты, а болот, т.е. относительно мощных торфяных образований - к регионам, где ее нет. В последнем случае соотношение болот (слой торфа >30 см) и заболоченных почв (слой торфа ≤30 см) примерно равное - 1:1, тогда как в зоне мерзлоты - 1:2. Примечательно, что в Швеции (Hannel, 1990) при мягком морском климате доля болот по отношению к органогенным заболоченным почвам значительно большая - 1:0.58. Все это говорит о мощном влиянии на торфонакопление позднеголоценового похолодания климата в Сибири и на Дальнем Востоке, о чем еще будет речь далее.

Согласно “Торфяным месторождениям” (1970-1990) средняя глубина торфа учтенных болот оказалась: в тундре - 1.27 м, в тайге и южнее - 2.48 м. В нашей же задаче, когда за “вес” принималась площадь болот по карте (глубиной > 0.5 м) в различных экономических районах, средняя мощность торфяных отложений оказалась: в тундре - 1.29 м, в тайге и южнее - 2.25 м, а в целом по России - 2.11 м. Для всех болот России со слоем торфа более 0.3 м средняя глубина равна 1.72 м. Заметим, что E.Gorham (1991) для канадских болот принимал среднюю глубину 2.2 м (правда, со слоем торфа 0.4 м и более), в Швеции, по L.Franzen (1992) - 1.68 м, в Финлян-

Заболоченность территории России при  
глубине торфа более 30 см, %



Градации площадей, %



дии для болот с торфом 0.3 м и более при их площади 20 и более гектар - 1.52 м (Lappalainen, Hanninen, 1993 по Tolonen et.al., 1994).

Мы также установили площади оторфованных почв со слоем торфа до 10 см, от 11 до 30 см, от 31 до 50 см и более 50 см, что важно также для перспективных прогнозов динамики заболоченных местопроизрастаний при изменении климата. Подсчеты абсолютно сухой массы торфа и заключенного в нем органического углерода (принимали 53%) выявили следующее (табл. 2). В болотах сосредоточено 100.93 млрд. т углерода, а в торфе заболоченных почв, несмотря на их преобладание по площади, только 12.6 млрд.т. В целом же торфопокрытые избыточно увлажненные почвы представляют собой один из главных пулов органического углерода биоты России - 113.5 млрд.т. Это более половины оцененного Д.Орловым (1994) запаса углерода неболотных почв России и значительно больше, чем содержит в себе фитомасса лесов - 41.2 млрд.т по А.Исаеву и др. (1993).

**Таблица 2. Запасы торфа (абс. сухая масса) и органического углерода в нем в оторфованных почвах России**

Показатель	Мощность торфа, см				Всего
	<10	11-30	31-50	>50	
Площадь, млн.га	171.0	59.1	41.5	97.5	369.1
Запас торфа, млрд.т	11.97	11.82	16.6	173.83	214.22
Запас "С", млрд.т	6.34	6.26	8.8	92.13	113.53
Запас "С", млрд.т. при слое торфа:					
менее 30 см	12.60				
31 см и более			100.93		

Мировые оценки углеродного пула торфяных болот колеблются в предельных оценках разных авторов от 145 млрд.т С (Schlesinger, 1977) до 455 млрд.т С (Gorham, 1991); средние значения можно получить из (International..., 1983) - в пределах 120-240 млрд.т С. Можно полагать, что не менее трети мирового пула углерода торфов приходится на Россию (табл. 2).

## **2. Долговременный годичный вертикальный прирост торфяников в разных регионах России и особенности климата голоцена**

Для оценки углерододепонирующей способности болот первостепенное значение имеет знание вертикального прироста торфяников – наиболее варьирующего показателя среди других, необходимых для расчета (объемная масса торфа, содержание в нем углерода).

Анализ абсолютных датировок по <sup>14</sup>C донных отложений торфа выявил, что в главных регионах сосредоточения болот начало торфообразования приходится на вторую половину предбореального и первую половину борееального периодов(9500-8500 л.н.). Это относится даже к



Карелии, территория которой лишь в предбореале освободилась от ледникового покрова. Свидетельство раннеголоценового болотообразования есть также на островах Северного Ледовитого океана, где сейчас арктические тундры.

Различие главных климатообразующих факторов на громадной территории России, их динамика в голоцене, а также специфика гидрогеологических условий разных регионов определили разную скорость нарастания толщи торфа (табл. 3). Самой большой она оказалась в Карелии ( $0.85 \text{ мм год}^{-1}$ ), где, как кажется, больше, чем в других регионах, интенсивно прирастающих болот, недавно (в субатлантике) вышедших из озерной стадии болотообразования.

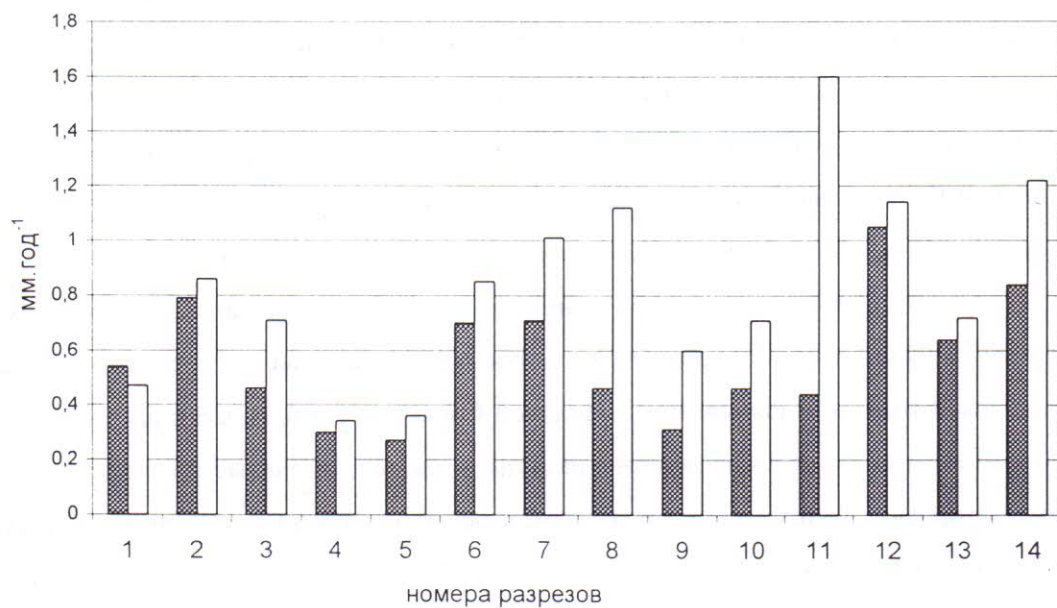
Для южной тайги и хвойно-широколиственных лесов ЕТР, где имеется довольно много базальных датировок по  $^{14}\text{C}$  разных болот, вертикальный прирост торфяников за голоцен составил  $0.55 \text{ мм год}^{-1}$ . Примерно такие же значения и по единичным разрезам в других частях таежной зоны ЕТР. Одинаковая с Европейской частью средняя за голоцен скорость торфонакопления оказалась в средней и южной тайге Западной Сибири (т.е. вне области распространения мерзлых грунтов), где также сосредоточены разрезы, имеющие базальные и послонные радиоуглеродные датировки. Правда, здесь для этого нередко использовали естественные обнажения. Высокая интенсивность роста торфяников, близкая к Карельской, характерна для низинных болот подтайги и лесостепи Западной Сибири. В тех же пределах, что для ЕТР и Западной Сибири, изменяются приросты торфов на Камчатке и Сахалине.

Таблица 3. Средний за голоцен вертикальный прирост торфяников (датировки базальных слоев по  $^{14}\text{C}$ )

Регионы	Прирост	Число разрезов
1. Карелия: северная, средняя тайга	$0.85 \pm 0.36$	20
2. ЕТР: южная тайга, хвойно-широколиственные леса	$0.55 \pm 0.21$	21
3. Западная Сибирь: средняя, южная тайга	$0.55 \pm 0.23$	26
4. Западная Сибирь: подтайга и лесостепь	$0.78 \pm 0.25$ низинные (займища) $0.80; 2.60$ олиготрофные (рямы)	7 2
5. Камчатка	$0.22 - 0.66$	4
6. Сахалин	$0.30 - 0.64$	4

Конечно, средний прирост болот за весь голоцен лишь опосредовано говорит о росте болот в более близкое нам время, для которого по России крайне мало датировок в профиле торфяников. Хотя известна некоторая общность черт глобальной динамики климата в голоцене, по отдаленным друг от друга регионам в одно и то же время условия для торфонакопления в прошлом были разными (Zoltai, Polett, 1983; Tolonen et al., 1992 и др.). Некоторые сведения о различиях в средних скоростях за весь голоцен и за его вторую половину в Европейской части России и Западной Сибири нам удалось систематизировать (рис. 2).

а) ЕТР



б) Западная Сибирь

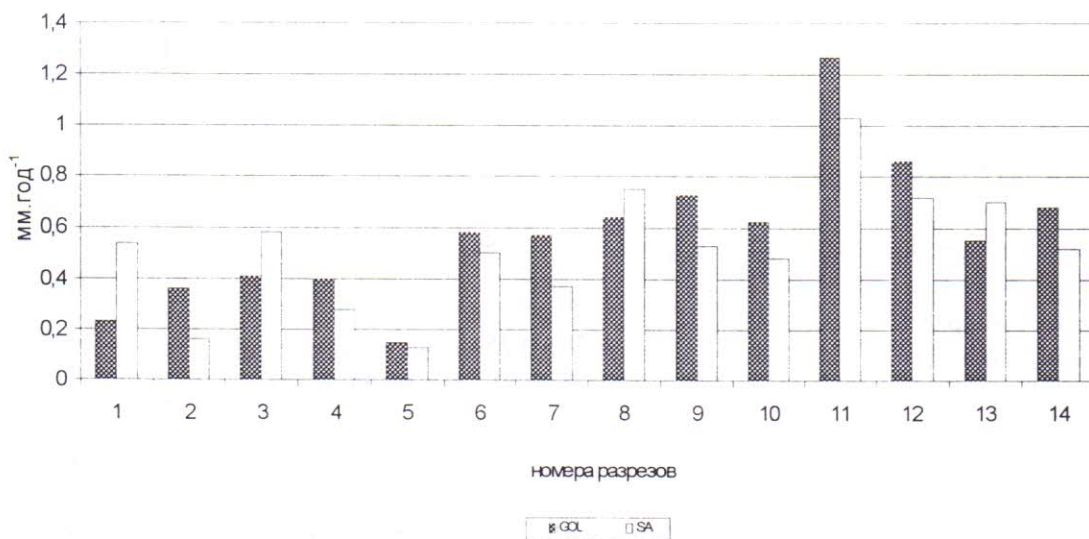


Рис. 2. Средний вертикальный прирост торфяников в голоцене и за субатлантику по отдельным болотам.

В подавляющем большинстве разрезов болот южной тайги и зоны хвойно-широколиственных лесов ЕТР прирост торфяников в субатлантическом периоде был выше, чем в среднем за голоцен. В Западной Сибири (вне области вечной мерзлоты) в это время имела тенденция уменьшения торфонакопления. Эти данные по Европейской части в общем согласуются с выводом K.Tolonen et al. (1992) о лучшем росте финских болот за последние 2 тыс. лет, а также за последнее тысячелетие российских болот в анализе В.Климанова и А.Сирина (1997).

Более половины всех российских болот (с торфом >0.5 м) расположены в области вечной мерзлоты грунтов (Вомперский и др., 1994). Здесь ниже точность выявления болот и хуже обеспеченность послойными датировками торфяных отложений.

В табл. 4 для этой территории представлены данные по болотам, у которых имеются датировки базальных и наиболее близких к поверхности слоев торфа в тех же разрезах. Эти разрезы сосредоточены в западной и южной частях области распространения вечной мерзлоты (см. рис. 4). Они приурочены к районам Печорской губы на западе, Казым-Надымскому междуречью в Западной Сибири, мысу Каргинский на Енисее, вблизи г. Игарки, югу Якутии, северу Сахалина и Камчатки. Как видно из табл. 4, в исследованных болотах скорость торфонакопления во вторую половину голоцена (суббореальный и субатлантический периоды) оказалась большей частью на порядок ниже, чем в первую половину. То есть в атлантический и бореальный периоды прирост этих торфяников был таким, как в среднем за голоцен вне мерзлоты в Западной Сибири и южной тайге ЕТР (табл. 3 и 4). По-видимому, вертикальный прирост торфяников во второй половине голоцена близкий к  $0.1 \text{ мм год}^{-1}$  можно рассматривать как свойственный большинству болот современной области вечной мерзлоты, так как неохваченные датировками районы Сибири и Дальнего Востока характеризуются еще более суровым климатом. Замедление и прекращение современного торфообразования, а также эрозия торфяников, особенно бугристых в области вечной мерзлоты, отмечается как в нашей, так и зарубежной литературе (Пьявченко, 1971, 1985; Хотинский, 1977; Хотинский, Климанов, 1985; Zoltai, Tarnocai, 1975; Zoltai, Polett, 1983) и согласуется с представлениями о палеоклимате и истории растительности.

Однако, мы не уверены, что это справедливо для всех бугристых болот, поскольку есть указания и об их удовлетворительном приросте (Новиков и др., 1981). Кроме того, болота пойм в области мерзлоты, можно полагать, растут гораздо лучше, но нам, к сожалению, неизвестно сколько их и каков прирост торфа у них.

Максимальное потепление климата в Сибири было в позднеатлантический период (6 - 4.6 тыс. лет назад) и сопровождалось ростом увлажненности. Леса в то время продвинулись далеко на север и восток в зону современной тундры: значительно севернее распространялись и влаголюбивые темнохвойные леса (Хотинский, 1977; Авенариус и др., 1987).

Таблица 4

Прирост некоторых торфяников в области современной вечной мерзлоты  
(датировки торфа по  $^{14}\text{C}$ ) \*

	Номера разрезов											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Общая мощность торфа, м	2.9	1.4	3.8	3.5	2.4	1.7	1.5	3.8	4.4	3.8	2.5	
Возраст в верхней части разреза, лет	4810	4860	4660	3880	4900	2420	6030	3420	2710	4600	1343	
Базальный возраст, лет	7680	8790	8090	9000	9380	8020	9480	10610	9350	9160	8277	
Прирост торфяников, мм.год <sup>-1</sup>											Среднее	
а) в верхней части	0.11	0.05	0.15	0.06	0.05	супесь	0.07	0.06	0.07	0.10	0.09	0.08±0.03
б) в нижней части	0.9	0.3	0.89	0.63	0.49	0.28	0.32	0.50	0.63	0.74	0.34	0.55±0.23

\* Местоположение №№ разрезов см. на рис. 4

Повышенная в сравнении с современным климатом увлажненность оценивается разными авторами по разным регионам неодинаково (Авенариус и др., 1987; Frenzel., 1992; Monserud et al., 1998). Не вызывает, однако, сомнений, что помимо роста осадков повсеместное оттаивание вечно мерзлых грунтов распространялось в них все глубже (Velichko et al., 1995) и освобождало дополнительные количества вод, благоприятствуя болотообразованию всюду, где был затруднен поверхностный сток.

Последующие за средним голоценом изменения климата, особенно в центральной и восточной Сибири - рост его сухости и континентальности - замедлили и в ряде случаев прекратили болотообразование, стали отмечаться явления разрушения торфяников.

Нам представляется, что преобладающая приуроченность мелкоотторфованных заболоченных земель и сравнительно неглубоких болот к области современной мерзлоты также подтверждает представление об ухудшении в позднем голоцене здесь условий торфонакопления. Отметим большое сходство вышесприведенного анализа и количественных оценок с данными по северным канадским болотам. Это касается, как широкого распространения мелкоотторфованных болот, подстилаемых вечномерзлым грунтом («Venserbog») в субарктике и на севере распространения лесов (Zoltai et al., 1988), так и существенного уменьшения аккумуляции торфа северными болотами Канады после раннего и среднего голоцена вплоть до крайне малых значений прироста в наше время (Zoltai et al., 1988; Ovenden, 1990 и др.). Наконец, с вышеуказанным согласуется и понижение во второй половине голоцена прироста болот Западной Сибири вне области вечной мерзлоты (рис. 2), которые в меньшей степени зависят от климата в силу особых гидрологических и геоморфологических условий этого феномена болотообразования.

### **3. Глубина болот как показатель средней долговременной скорости накопления торфа**

Нам кажется, что оценка скорости торфонакопления по регионам может быть более точной при использовании данных о глубине болот как косвенном показателе скорости торфонакопления. Хотя сведений о глубине болот недостаточно, но не настолько, как абсолютных датировок, необходимых для непосредственного подсчета средней скорости их роста.

Мы исходим из представления, что в большинстве случаев в пределах регионов с более или менее сходной историей климата в голоцене имеется характерное распределение болот по возрасту возникновения и соответственно большинство их (возникших при заболачивании суши) имеет сравнительно близкий возраст базальных слоев торфа. Существенно моложе и старше их могут быть лишь болота, образовавшиеся при зарастании водоемов. Доля их обычно сравнительно невелика. Исключением могут быть регионы с активными тектоническими явлениями. Поэтому логично предполагать наличие общей тенденции: преобладания болот в регионе близ-

кого к среднему возрасту, а различие в глубине болот, т.е. разной скорости торфонакопления, чаще всего объяснять местными условиями болотообразования (трофность среды, водный баланс, пожары, тектонические явления и т.п.). Конечно, при таком подходе очень важно выделение регионов с однородными условиями болотообразования.

На рис. 3 приведены графики связи прироста и глубины торфяников для 2-х регионов России, 3-х регионов Канады и для некоторой совокупности преимущественно финских болот. Фактический материал по российским болотам был собран и обработан нами. Графики по Канаде построены нами на основе сводок L.Ovenden (1990) и S.Zoltai, D.Vitt (1990), а по Финляндии (частично Эстонии, США) – исходя из Tolonen et al. (1992).

Из рис. 3 следует, что по всем группам болот отчетливо видно: чем мощнее торфяные отложения, тем больший средний прирост был свойствен исследованным болотам, при небольшом числе точек, существенно отклоняющихся от прямолинейной зависимости. Коэффициенты корреляции этой связи колеблются по регионам от 0.63 до 0.92. Усредненный коэффициент корреляции (подсчитанный с использованием преобразования  $z$  по Р.А.Фишеру), для всех шести групп болот (рис. 3) равен 0.77, что свидетельствует о наличии в целом тесной взаимосвязи годового прироста и глубины торфяника. В соответствии с фактическим материалом зависимость справедлива для болот, начиная с глубины 1 м и более. Примечательно, что, несмотря на самую разную индивидуальную историю каждого болота и различия природы регионов обсуждаемая связь для совокупности болот в регионах выражается уравнениями прямой с очень близкими параметрами.

Поскольку разная скорость нарастания торфа у разных болот интегрируется глубиной (массой) торфяников, то взаимосвязь вертикального прироста и глубины их практически не зависит от типа болот. К тому же известно, что амплитуда значений долговременного прироста как вертикального, так и массы, у болот одного типа существенно перекрывается с таковой у болот другого типа (Tolonen et al., 1992). Поэтому связь прироста и глубины болот при достаточном числе наблюдений может выражать важную характеристику, свойственную всей совокупности болот региона, а редкие большие индивидуальные отклонения, по-видимому, скорее всего обязаны различиям в возрасте, частным аномалиям торфонакопления и случайностям (деятельности бобров, пожарам, ошибкам и проч.).

В глобальных и региональных расчетах годового связывания атмосферного углерода болотами обычным приемом является перемножение соответствующей общей площади их на некоторую величину прироста массы торфа на единице площади, определяемую через средний годичный вертикальный прирост торфяников (Armentano, Menges, 1986; Gorham, 1991; Eriksson, 1991; Franzen, 1992; Вомперский, 1994; Botch et al., 1995 и др.). Поскольку болота разной глубины росли в голоцене с разной скоростью (рис. 3), то в упомянутых расчетах следовало бы в качестве типичной использовать показатели роста «среднего» по глубине болота.

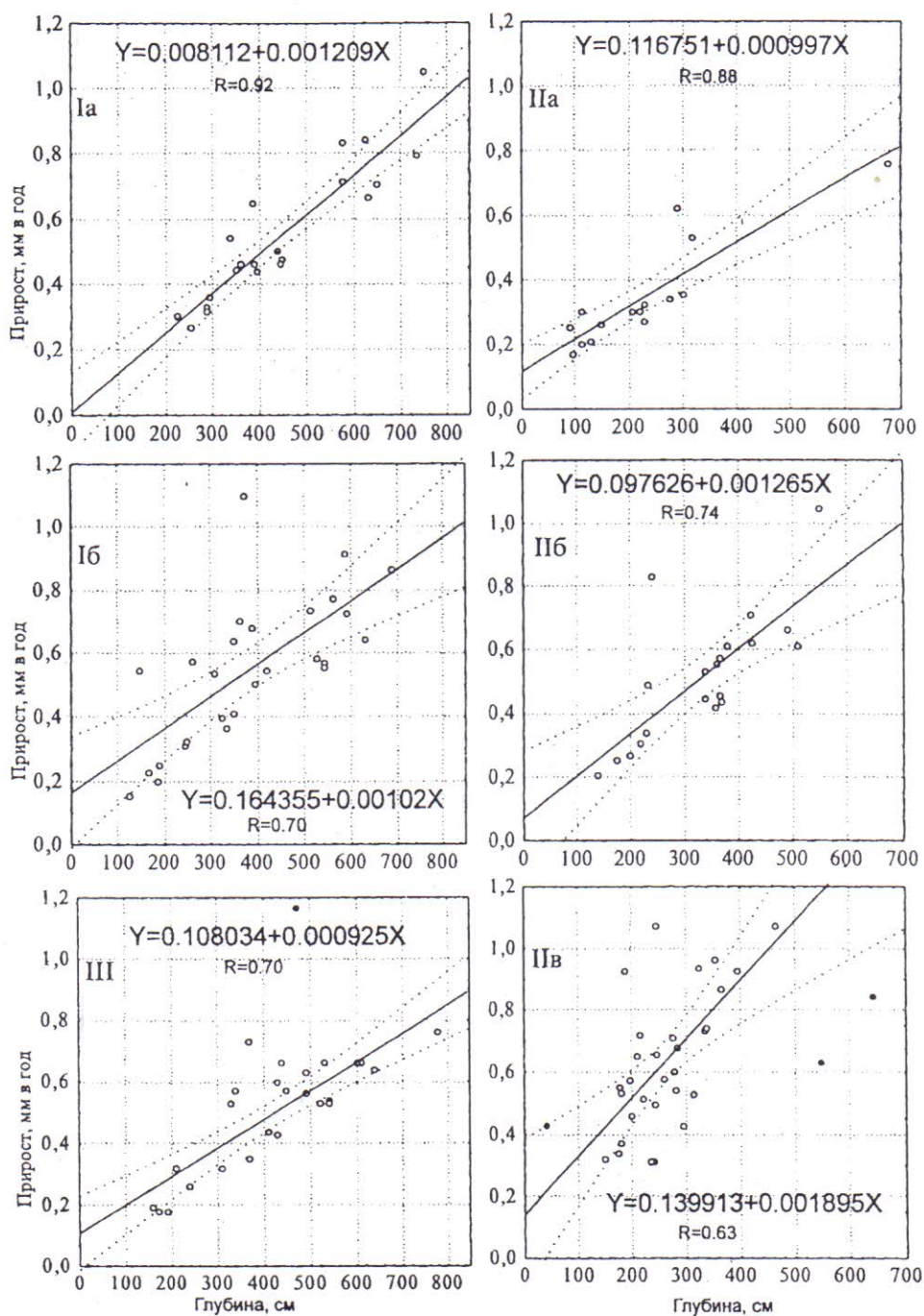


Рис. 3. Связь годовичного долговременного вертикального прироста и глубины торфяников, возраст которых установлен по  $^{14}\text{C}$  датировкам базальных слоев торфа в разных странах. В России: Ia – Европейская часть, зона южной тайги и хвойно-широколиственных лесов, Ib – Западная Сибирь, средняя и южная тайга. В Канаде: IIa – субарктические болота (на основании сводки L. Ovenden, 1988), II б, в – фены западно-центральной части (на основании сводки S.C. Zoltai and D.H. Vitt, 1990); II б – болота преимущественно >6000 лет, расположенные главным образом, севернее  $54^{\circ}30' \text{ N.L.}$ ; II в – болота преимущественно <6000 лет и южнее  $54^{\circ}30' \text{ N.L.}$ ; расчет уравнения для последних выполнен без 3-х точек (показанных черными кружками), относящихся к болотам № 6, 40, 41 (S.Zoltai, D.Vitt, 1990) с резко различной историей и возрастом. В Финляндии, частично США, Эстонии - III (на основании сводки K. Tolonen et al. 1992). Здесь расчет уравнения выполнен без 2-х точек (показанных черными кружками): №17 – Kurkisuо и №19 – Mupasuo (за пределами рисунка), значительно отклоняющимися от общего тренда. Пунктиром показан 95% доверительный интервал связи. Коэффициенты корреляции R достоверны с вероятностью 0.95 и выше.

Однако этого не делалось и тем самым допускалось завышение величины итоговых расчетов связывания углерода болотами.

В большинстве стран, и особенно в России, выбор болот для абсолютных датировок преследовал цели палеоклиматологии, палеоботаники, истории растительности в голоцене, которым полнее отвечают наиболее глубокие болота, т.е. лучше накапливавшие и сохранявшие торф, чем средние по глубине болота. Например, средняя глубина датированных торфяников южной части тайги ЕТР (учтенных в табл. 3) оказалась 4.5 м, тогда как в этом регионе средняя глубина болот ( $>0.5$  м) равна 2.37 м (Вомперский и др., 1994). Последней по графику (рис. 3, Ia) соответствует вертикальный прирост торфяника –  $0.34 \text{ мм год}^{-1}$ , а у обеспеченных датировками болот средний прирост существенно больший –  $0.55 \text{ мм год}^{-1}$  (табл. 3).

Более того, вероятно, имеется еще один источник завышения используемых в расчетах значений вертикального прироста торфяников – расположение мест бурения кернов для датировок в генетических центрах возникновения болот, т.е. в наиболее глубокой части торфяной залежи. Насколько репрезентативна долговременная скорость роста в генетическом центре по отношению ко всей его площади? Ведь разрастание по площади болот от их очагов возникновения означает, что чем дальше от них, тем возраст базальных слоев торфа болот здесь моложе, глубина меньше, а накопленный торф не отражает более старый климат и бывшие местные водно-минеральные условия питания болот, как в их очагах возникновения.

А.А. Korghola (1994), детально исследовавший латеральное распространение 5 болот на юге Финляндии (71 датировка базальных слоев торфа), выявил общую для этих торфяников зависимость глубины от возраста отложений в разных точках ложа болот. Эта зависимость имеет вид экспоненты, близкой к прямой, согласно которой, например, глубине донного торфа 1 м соответствует возраст возникновения 2.5 тыс. лет, а 4 м – 4 тыс. лет. Для нашего анализа важно то, что в первом случае средний долговременный прирост выходит равным  $0.4 \text{ мм год}^{-1}$ , а во втором –  $1.0 \text{ мм год}^{-1}$ , т.е. в 2.5 раза больший.

Таким образом, для наших задач, строго говоря, надо бы знать не столько средний по региону (стране) прирост болот в их максимальной глубине, сколько прирост средней толщины торфяных отложений, чем мы пока не располагаем даже в странах с хорошо изученным торфяным фондом. В частности, в Финляндии средняя глубина болот с известным возрастом и приростом торфа в 2 раза превышает среднюю в стране глубину торфяных отложений (Tolonen et al., 1994). Тем не менее, знание закономерностей роста болот в их максимальной глубине, как нам кажется, открывает реальную возможность оценок прироста репрезентативных среднечрезвычайно мощных торфяников.

Несмотря на сравнительно небольшое количество точек по регионам в графиках рис.3, не исключена их довольно существенная информативность для обобщенных



оценок прироста болот разной глубины. Например, в сводке датировок разными методами 1318 болот Финляндии (Tolonen et al., 1994), их средняя глубина оказалась  $3.03 \pm 1.46$  м и средняя за голоцен аккумуляция углерода –  $19.9 \pm 10.7$  г С м<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>. А согласно уравнению рис.3 III при такой глубине болот (прирост  $0.39 \pm 0.06$  мм год<sup>-1</sup>) и, принимая объемную массу торфа 0.1 г см<sup>-3</sup> годовичное связывание углерода выходит  $19.42 \pm 3.0$  г С м<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>, т.е. результаты практически совпадают. Располагая репрезентативными по регионам (странам) глубинами торфяных отложений, с помощью такого рода графиков можно установить соответствующие им средние скорости вертикального роста болот. Если предложенный метод найдет признание специалистов, то он может унифицировать и уточнить как глобальные, так и по странам, оценки вклада болот в углеродный цикл биоты.

Все вышеизложенное в этом разделе позволяет заключить, что использование в региональных расчетах прироста нерепрезентативно мощных торфяников, а также определений в наиболее глубоких местах (в генетических центрах болот) дает завышенную оценку скорости роста средних по мощности торфяников, типичных для региона.

#### 4. Оценки связывания атмосферного углерода болотами

Прежде всего отметим, что сделать такие оценки можно лишь в самом первом приближении ввиду крайне малой изученности болот России. Недостаточная известность даже самих площадей болот (в восточной части страны) и, тем более, глубин, возрастов, скоростей торфонакопления вынуждают прибегать к качественному анализу и экспертным оценкам составляющих расчета углерододепонирующей способности болот в разных регионах.

В самом общем виде можно исходить из представлений о том, что регионы резко различные по природным условиям и средней глубине болот должны характеризоваться и разной скоростью торфонакопления. Этот подход мы и попытались осуществить в наших расчетах (табл. 5). Деление территории на регионы разного болотообразования и торфонакопления (рис. 4) прежде всего учитывает наиболее сильную обусловленность их распространением вечной мерзлоты. Хотя используемое деление является, по-видимому, слишком укрупненным, но оно недостаточно обеспечено надежными составляющими расчета. Регионы I, IV, VI приурочены к северу страны, где распространены тундровые, лесотундровые и северо-таежные болота, включая бугристые, и частично грядово-озерковые, грядово-мочажинные, многие из которых находятся в дистрофной стадии развития и крайне мало прирастают в наше время. Почти такой же слабый современный (и во второй половине голоцена) прирост свойственен болотам юга Восточной Сибири (рис. 4, VII). Самые высокие темпы роста оказались у болот Карелии (II).

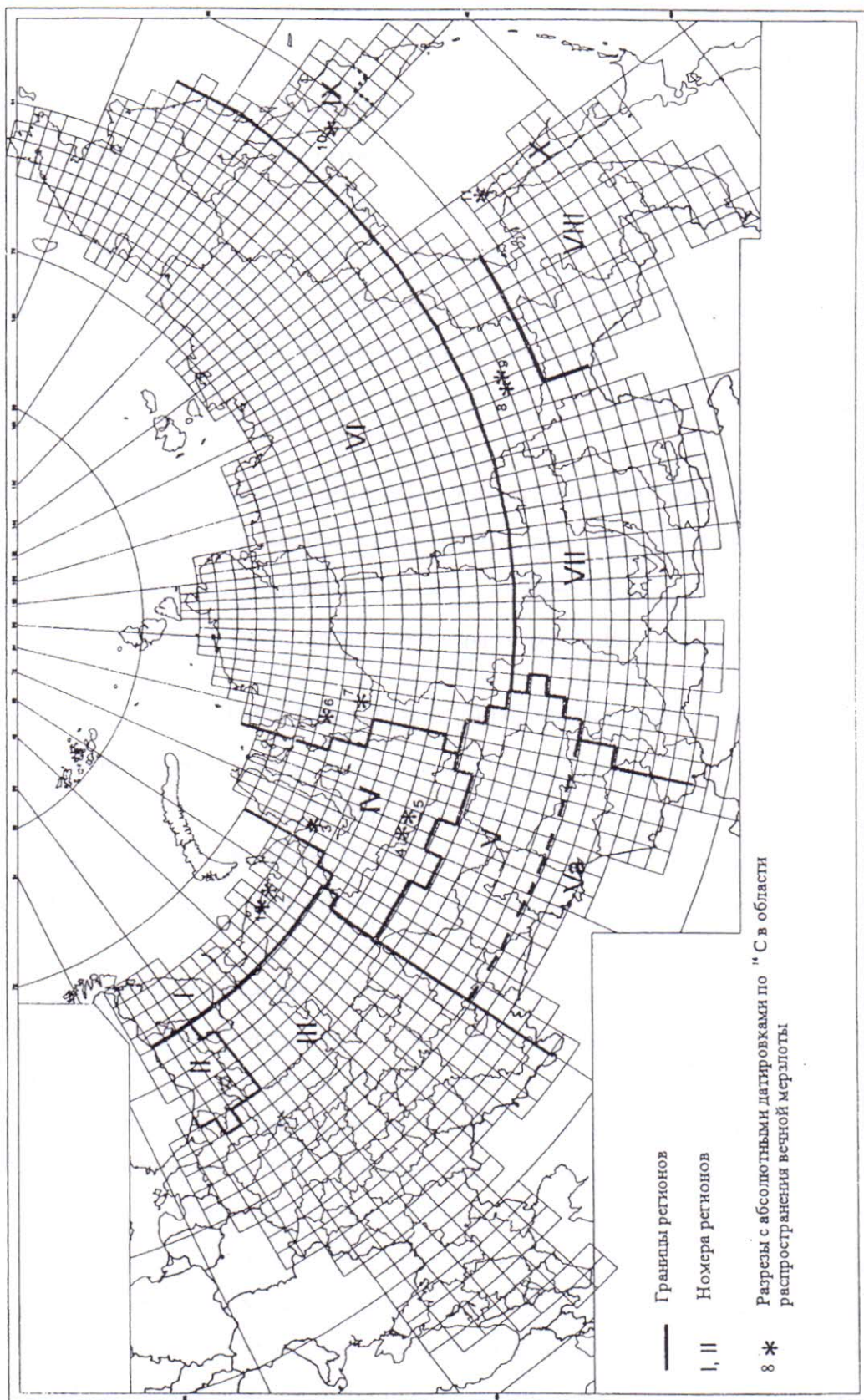


Рис. 4. Принятое для расчета торфонакопления (табл. 5) укрупненное деление территории на регионы. Болота с датировками возраста по  $^{14}\text{C}$ , приведенные в табл. 4, обозначены №№ 1-11.

Таблица 5. Расчет приблизительного годовичного накопления абсолютно сухой массы торфа болотами России с глубиной торфа >0.5 м

Регион	Площадь $10^3$ га	Средняя глубина торфа, (h), м		Объемная масса торфа, т $m^{-3}$	Прирост, ( $\Delta h$ ) мм год $^{-1}$			Долговременный прирост в регионе, ( $10^3$ т.год $^{-1}$ ), исходя из:		
		В регионе	Разрезом с $^{14}C$ датиров- кой		В разрезе с $^{14}C$ датировкой		В регионе, (с поправ- кой на ср. глубину); голоцен	Сред. по разрезам с $^{14}C$ датировкой		с поправ- кой на ср. глубину; голоцен
					голоцен	SA,SB		SA,SB	SA,SB	
I	7284.8	1.38	3.00	0.099	0.34	0.10*	0.15	2452.0	721.2	1127.9
II	1315.0	1.96	5.00	0.092	0.85	0.85	0.33	1028.3	1028.3	403.1
III	9192.5	2.37	4.50	0.092	0.55	0.84	0.29	4651.4	7104.0	2491.8
IV	18153.9	1.26	3.00	0.087	0.34	0.10*	0.14	5369.9	1579.4	2255.4
V	25402.5	2.70	3.92	0.083	0.55	0.50	0.44	11596.2	10542.0	9271.8
Va	4147.5	2.18	4.29	0.083	0.78	0.70	0.39	2685.1	2409.7	1364.5
VI-тундра	4523.2	1.26	3.00	0.087	0.34	0.10*	0.14	1338.0	393.5	561.9
VI-тайга	10725.0	1.84	3.00	0.092	0.34	0.10*	0.21	3354.7	986.7	2057.6
VII	3457.5	1.81	3.00	0.092	0.34	0.10*	0.21	1081.5	318.1	652.5
VIII	9852.5	1.04	-	0.092	0.40**	0.40**	0.40**	3625.7	3625.7	3625.7
IX	2520.0	2.58	3.18	0.092	0.44	0.44	0.36	1020.1	1020.1	827.6
X	872.5	2.58	4.64	0.092	0.53	0.50	0.29	425.4	401.4	236.6
ИТОГО	97446.9							38628.5	30130.1	24876.5

\* SA + SB, остальные только за SA

\*\* прирост ( $\Delta h$ ) назначен экспертно

Довольно интенсивное торфонакопление у болот лесной зоны Европейской части (III), Западной Сибири (V), Камчатки (IX) и Сахалина (X). Исходными для расчета (табл. 5) служили ранее опубликованные данные (Вомперский и др., 1994) о площадях болот, глубине и объемной массе торфа по экономическим районам. Прирост, как вертикальный, так и абсолютной сухой массы торфа, посчитан с учетом обобщенных в данной работе датировок  $^{14}\text{C}$  болот (табл. 3, 4; рис. 2: 3. Ia, Ib). Поскольку в России болота с абсолютными  $^{14}\text{C}$  датировками возраста, как правило, значительно глубже средних в регионе, то для последних (по сравнению с датированными торфяниками) соответственно уменьшалась величина расчетного прироста, что выше специально обсуждалось. К сожалению, более или менее полноценно (при наличии уравнения связи глубины и прироста) такой подход в данной работе осуществлен в расчетах лишь для центрально-европейских (III) и западно-сибирских (V) болот (рис. 3. Ia, Ib), в сумме составляющих около 36% площадей страны с глубиной торфа  $> 0.5$  м. Для других регионов, чаще всего с небольшим количеством торфяников, обеспеченных датировками, мы допустили пропорциональное снижение установленного у них среднего прироста соответственно средней глубине болот региона.

Из табл. 5 следует, что использование арифметического среднего из приростов болот с абсолютными датировками в регионах в качестве расчетных значений для болот ( $>0.5$  м) в среднем за весь голоцен дает в результате прирост массы  $38.6$  млн.т год $^{-1}$ . Соответствующий расчет за вторую половину голоцена –  $30.1$  млн.т год $^{-1}$  (на 22% меньше). То есть снижение приростов сибирских болот за SB и SA сказалось на итогах сильнее улучшения роста болот Европейской части России за эти периоды.

Коррекция приростов болот с известными  $^{14}\text{C}$  датировками на соответствующую меньшую среднюю глубину торфяников в регионах выявляет средний за голоцен темп накопления абсолютно сухой массы торфа –  $24.88$  млн.т год $^{-1}$ , т.е. лишь в размере 64.5% от прироста, рассчитываемого традиционно. Соответствующее связывание углерода составляет  $21.01$  и  $13.53$  г С м $^{-2}$  год $^{-1}$ .

Порядок первой цифры привычен, часто используется в глобальных (и по странам) расчетах:  $20.0$  г С м $^{-2}$  год $^{-1}$  – для болот Финляндии и б.СССР (Armentano, Menges, 1986),  $21.4$  г С м $^{-2}$  год $^{-1}$  – болот мира и  $16.0$  –  $22.0$  г С м $^{-2}$  год $^{-1}$  – болот Швеции (Franzen, 1992). Вторая цифра –  $13.53$  г С м $^{-2}$  год $^{-1}$  в качестве средней для расчета кажется очень низкой. Однако, наличие в разных природных зонах болот с очень широким диапазоном значений приростов и недостаток сведений о их представительности вынуждает некоторых исследователей экспертно принимать и довольно низкие средние расчетные приросты торфяников. Так L.Ovenden (1990) принимал среднюю оценку связывания углерода для всех болот Канады  $15.0$  г С м $^{-2}$  год $^{-1}$ .

Обращаясь к роли мелкоотторфованных болот в связывании углерода атмосферы и следуя

логике, развиваемого в этой работе подхода, мы экспертно можем принять, что болота с глубиной торфа от 0.3 до 0.5 м связывают 80% от средних по глубине болот (>0.5 м), т.е.  $10.82 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$  (20.4 г абсолютно сухой массы торфа в год). Площадь такой категории болот – 41.5 млн.га (табл. 2) и аккумуляция торфа  $8.47 \text{ млн.т год}^{-1}$ . Таким образом все болота (более 0.3 м) нарастают ежегодно на 33.35 млн.т торфа или связывают  $17.68 \text{ млн.т С год}^{-1}$ .

В более ранней публикации (Вомперский, 1994) мы использовали для всех болот (>0.3 м) России несколько более высокую норму связывания углерода –  $22.4 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$ , полученную осреднением норм, применявшихся зарубежными исследователями в глобальных (и по) оценкам.

**Таблица 6. Долговременное годичное накопление углерода болотами России по оценке обычным и новым методами расчета**

Глубина торфа, м	Площадь, млн.га	Расчетное накопление по болотам с известным возрастом, $\text{г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$		Долговременное накопление ( $\text{млн.т С год}^{-1}$ ) по методам:	
		Среднее	С поправкой на среднюю глубину	Обычный	Новый
>0.5	97.5	21.01*	13.53**		13.19
0.3-0.5	41.5		10.82		4.49
>0.3	139	21.01		29.2	17.68

\* средняя норма накопления С, принимая за "вес" площади болот (>0.5м) в регионах;

\*\* исходя из тех же данных по регионам, но с поправкой на среднюю глубину торфяных отложений в них.

В таблице 6 мы исходили из средней нормы депонирования углерода –  $21.01 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$ , выявленной по фактическим определениям прироста и абсолютного возраста торфяников в разных регионах, принимая за «вес» площади болот (>0.5 м) в них (табл.5). Поэтому годичная аккумуляция углерода болотами вместе с заболоченными землями грубо оценивалась прежде (Вомперский, 1994) около 50 ( $48.3 \text{ млн.т С год}^{-1}$ ), в том числе болотами (>0.3м) –  $31.1 \text{ млн.т С год}^{-1}$ ; вклад последних согласно уточненной норме связывания углерода и при обычном способе подсчета –  $29.2 \text{ млн. т С год}^{-1}$  (табл.6), а при новом способе (с учетом глубин торфяных отложений в регионах) –  $17.7 \text{ млн. т С год}^{-1}$ .

Важным фактором неопределенности углеродного баланса являются заболоченные земли. Мы предполагаем, что при очень слабой оторфованности – слой торфа до 0.10 м (171.0 млн.га) – эту категорию в текущем балансе углерода в торфе, вероятно, можно не принимать во внимание, считая его при неизменности климата близким к замкнутому. Более половины земель с торфяным слоем до 0.10 м представлены торфянистыми таежными глеевыми и неоглеевыми почвами в области вечной мерзлоты, где оторфованность больше связана с замедлением

разложения растительных остатков от низких температур, чем от избытка воды. Что касается площадей с оторфованностью от 0.1 до 0.3 м, то, нам представляется, что их большинство характеризуется переменным режимом связывания и эмиссии углерода

Согласно нашим, пока неопубликованным материалам (С.Вомперский, М.Вомперская, Н.Валяева), последние 2-3 десятилетия такие земли в лесной зоне ЕТР выступали, как поглотитель атмосферного углерода.

### Заключение

В данной работе приведены оценки площадей заболоченных и болотных земель, глубины, запасов торфа и углерода в нем, исходя из Почвенной карты РСФСР М 1:2.5 млн. (1988) и материалов разведки торфяных месторождений. Впервые дается пространственное (по трапециям карты) размещение болот (>30 см торфа). Несмотря на всю недостаточность исходных материалов, в рамках их данная попытка нам представляется исчерпывающей.

Анализ имеющихся абсолютных  $^{14}\text{C}$  датировок торфов болот позволил установить различия в средних темпах прироста торфяников в разных регионах как за голоцен, так и за его вторую половину (SB, SA).

Важным результатом является выявленная по некоторым регионам связь средних приростов болот с их глубиной. Это означает, что глобальные, и по странам, оценки годичной аккумуляции углерода болотами должны быть привязанными к соответствующим репрезентативным по регионам глубинам торфяных отложений. Этого до сих пор не делалось, что завышало оценку вклада болот в углеродный цикл биоты, как у нас, так и за рубежом. Согласно новому подходу (методу) получена первая приближенная оценка среднего в голоцене темпа связывания углерода болотами России (с торфом >0.5 м) -  $13.53 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$ . Эта цифра подлежит уточнению, ввиду недостаточного знания по некоторым регионам России площади, средней глубины и абсолютного возраста болот. Однако преимущественная приуроченность болот России к области вечной мерзлоты предопределяет невысокую среднюю интенсивность торфонакопления на единице их площади.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №96-04-50592).

### Литература

- Авенариус И.Г., Муратова В.М., Спасская И.И. Палеогеография Северной Евразии в позднем голоцене и географические прогнозы. М.: Наука, 1987. 76 с.  
Баланс запасов полезных ископаемых России на 1.01.1991. М.: Роскомнедра, СГП по разведке торфа «Торфгеология», 1992. 91 с.

- Вомперский С.Э. Роль болот в круговороте углерода // Чтения памяти ак.В.Н.Сукачева. XI: Биогеоценотические особенности болот и их рациональное использование. М.: Наука, 1994. С.5-37.
- Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Глухова Т.В. и др. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение, 1994. №12, С.17-25.
- Ефремов С. П., Ефремова Т.Т., Мелентьева Н.В. Запасы углерода в экосистемах болот. // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Под ред. В.А.Алексеева и Р.А.Бердси. Красноярск, 1995/1994. С.128-139.
- Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. и др. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение, 1993. №5. С.3-10
- Климанов В. А., Сиринов А.А. Динамика торфонакопления болотами Северной Евразии за последние 3000 лет // Докл. Акад. Наук, 1997. Т.354. №5. С.683-686.
- Новиков С.М., Усова Л.И., Арсланов Х.А. и др. Генезис и возраст болот Западной Сибири // Изотопные и геохимические методы в биохимии, геохимии и археологии. Тарту, 1981. С.87-91.
- Орлов Д.С. Трансформация органического вещества в гумусе // Природа, 1994. №7. С.32-36.
- Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 556 с.
- Почвенная карта РСФСР. М.: 1:2500000. Под ред. Фридланда В.М. М.: ГУГК СССР, 1988. 16 л.
- Пьявченко Н.И., Сабо Е.Д. Основы гидроресомелиорации. М.: Гослесбумиздат, 1962. 380 с.
- Пьявченко Н.И. Лесное болотоведение. М.:Изд-во АН СССР, 1963.192 с.
- Пьявченко Н.И. К изучению палеогеографии севера Западной Сибири в голоцене // Палинология голоцена. М.: Ин-т географии АН СССР, 1971. С. 139-156.
- Пьявченко Н.И. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М.; Наука, 1985. 152 с.
- Розов Н. Н. Общий учет и качественная характеристика земельных ресурсов СССР // Проблемы почвоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С.7-42.
- Романов В.В. Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 359 с.
- Сабо Е.Д., Иванов Ю.Н., Шатилло Д.А. Справочник по гидроресомелиорации. Лесн. пром-ть, 1981. 200 с.
- Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 488 с.
- Торфяные ресурсы мира. Справочник. Под общ. ред. Оленина А.С. М.: Недра, 1988. 383 с.
- Хотинский Е.А. Голоцен северной Евразии. М.1977. 198 с.
- Хотинский Е.А., Климанов В.А. Радиоуглеродный возраст и климатические условия развития бугристых торфяников Надым-Казымского междуречья в голоцене // Вопросы экологии растений болот, болотных местообитаний и торфяных залежей. Петрозаводск. Карел. фил. АН СССР. 1985. С.132-140.
- Armentano I., Menges E.S. Patterns of change in the carbon balance of organic-soil wetlands of the temperate zone // J.Ecol. 1986. Vol.74. P.755-774/
- Botch M.S., Kobak K.I., Vinson T.S., Kolchugina T.P. Carbon pools and accumulation in peatlands of the former Soviet Union // Global Biogeochemical Cycles, 1995. Vol.9. №1. P.37-46.
- Efremov S.P., Efremova T.T., Melentyeva N.V. Carbon Storage in Peatland Ecosystems // Carbon storage in Forests and Peatlands of Russia 1998
- Eriksson H. Sources and sinks of carbon dioxide in Sweden //Ambio. 1991. V.20. № 3-4. P.146-150.
- Franzen L.G. Can Earth afford to lose the wetlands in the battle against the increasing greenhouse effect? // IX Intern. Peat Congr. Uppsala, 1992. Vol.1 (3). P.1-18.
- Frenzel B., Pesci M., Velichko A. (Eds.). Atlas of Paleoclimates and Paleoenvironments of the Northern Hemisphere: Late Pleistocene-Holocene. Geographical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. Budapest. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992. 153 p.
- Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming // Ecological Applications, 1991. V.1. № 2. P.182-195.
- Hannel Bjorn. Present situation and future possibility of peatland forestry in Sweden // Biomass Production and Element Fluxes in Forested Peatland Ecosystems. Proceedings of a Seminar. Umea, Sweden, 1990. P.45-48.

- Heikurainen L. Improvement of forest growth on poorly drained peat soils // Intern. Rev. forestry Res., 1964. Vol.1. P.40-101.
- International Peat Society. Helsinki, 1983. 21 p.
- Kivinen E., Pakarinen P. Geographical distribution of peat resources and mire peatland complex types in the World // Suomal Tiedeakat. Toim.Ser.A. III. Geologica – Geographica, 1981. Vol.132.
- Kolchugina T.P., Shwidenko A.Z., Vinson T.S., Dixon R.K., Kobak K.I., Botch M.S. Carbon Balance of forest Biomes in the Former Soviet Union // Univ. of Joensuu, Joensuu, Finland, 1992. P.1-17.
- Korhola A.A. Radiocarbon Evidence of Rates of Lateral Expansion in Raised Mires in Southern Finland // Quaternary Research, 42. 1994. P.299-307. 1994
- Monserud R.A., Tchekbakova N.M., Denissenko O.V. Reconstruction of the mid-Holocene palaeoclimate of Siberia using a bioclimatic vegetation model // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1998. №1. P.15-36
- Ovenden L. Peat accumulation in Northern wetlands // Quaternary research, 1990. Vol.33. №3. P.377-386.
- Schlesinger W.H. Carbon balance in terrestrial detritus // Ann. Rev. Ecol. System., 1977. V.8. P.51-81.
- Tolonen K., Vasander H., Damman A.W.H., Clymo R.S. Rate of apparent and true carbon accumulation in boreal peatlands // Proc. IX. Peat Congr. Uppsala, 1992.
- Tolonen K., Turunen J., Vasander H., Hogue J. Rate of carbon accumulation in boreal mires // The Finnish Research Programme on Climate Change. Second Progress Report. Helsinki, 1994. P.287-302.
- Velichko A.A., Borisova O.K., Zelikson E.V., Nechaev V.P. Permafrost and vegetation to global warming in North Eurasia // Woodwell G.M., Mackenzie F.T. Biotic Feedbacks in the Global Climatic System Oxford Univ. Press, New York, 1995. P.134-156.
- Zoltai S.C., Tarnocai C. Perennially frozen peatlands in the western arctic and subarctic of Canada // Canad. J. Earth Sci. 1975. Vol.2. P.99-122.
- Zoltai S.C., Polett F.S. Wetlands in Canada // Ecosystems of the world. Amsterdam, Elsevier, 1983. 4b. P.245-268.
- Zoltai S.C., Vitt D.H. Holocene Climatic Change and the Distribution of Peatlands in Western Interior Canada // Quaternary research, 1990. Vol.33. №2. P.231-240.
- Zoltai S.C., Tailor S., Jeglum J.K., Mills G.F., Johnson J.D. Wetlands of Boreal Canada. In: Wetlands of Canada. Polyscience, Montreal, 1988. P.97-174.