

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 581.12/14:630:161.32

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.82

### ЗАВИСИМОСТЬ ГАЗООБМЕНА БОЛОТНОГО СОСНЯКА ПУШИЦЕВО-СФАГНОВОГО ОТ УРОВНЯ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД

**А. Г. Молчанов**

Институт лесоведения РАН,

Российская Федерация, 143030, Московская обл., Одинцовский р-он, с. Успенское

E-mail: a.georgievich@gmail.com

*Исследованиями в болотном сосновом биогеоценозе в южной тайге (Ярославская обл.) в разных условиях почвенной влагообеспеченности и температуры установлено, что зависимость обмена  $\text{CO}_2$  между поверхностью сфагнового покрова и атмосферой в значительной степени определяется уровнем почвенно-грунтовых вод (УПГВ). Солнечная радиация неравнозначно влияет на обмен  $\text{CO}_2$ , при УПГВ от 4 до 21 см эта зависимость имеет логарифмическую форму, но при УПГВ ниже 21 см вместо поглощения наблюдается преимущественное выделение  $\text{CO}_2$ , при снижении УПГВ ниже 30 см обмен  $\text{CO}_2$  не зависит от поступления солнечной радиации, а дальнейшее снижение УПГВ приводит к подавлению эмиссии. С увеличением температуры воздуха при УПГВ от 7 до 21 см наблюдается снижение эмиссии  $\text{CO}_2$ , а при УПГВ 33 см и ниже – увеличение. При УПГВ ниже 43 см влияние температуры сказывается значительно слабее, а эмиссия  $\text{CO}_2$  снижается в два раза и более. Используя разработанную зависимость газообмена  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнума от окружающих факторов, получено, что при уровне УПГВ от 0 до 8 см поглощение  $\text{CO}_2$  сфагнумом сравнимо с поглощением  $\text{CO}_2$  сосняком Ia бонитета, однако при снижении УПГВ во второй половине вегетационного периода ниже 20–30 см происходит уже эмиссия  $\text{CO}_2$ , которую не сможет компенсировать сосняк Ia бонитета.*

**Ключевые слова:** сфагнум; сосняк; болото; газообмен  $\text{CO}_2$ ; уровень болотных вод; температура воздуха; солнечная радиация; метеорологические факторы.

**Введение.** Верховые сфагновые болота – одни из наиболее распространённых болотных экосистем [1] и значительная их часть покрыта лесной или редколесной растительностью [2], преимущественно из сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*. Торфяные болота играют важную роль в регулировании климата [3], а сфагновые

болота могут иметь особый вклад в обеспечении стабильного содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере [4]. Палеоэкологические данные свидетельствуют о менее активном росте болот в тёплые эпохи прошлого [5], причём наименее устойчивыми являются, вероятно, биогеоценозы с небольшой мощностью торфяной залежи [6] и

© Молчанов А. Г., 2016.

**Для цитирования:** Молчанов А. Г. Зависимость газообмена болотного сосняка пушицево-сфагнового от уровня почвенно-грунтовых вод // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2 (30). С. 82–93. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.82

менее стабильным водным режимом [7]. Существует предположение, что при изменении климата сопутствующие изменения осадков могут иметь решающее значение для роста бореальных болот [8], поэтому без учёта фактора уровня почвенно-грунтовых вод нельзя рассматривать вопрос о том, будут изменения климата способствовать процессам разболачивания или заболачивания [9]. Уровень почвенно-грунтовых вод оказывает заметное влияние на величину потока  $\text{CO}_2$ . Закономерное понижение УПГВ к концу сезона приводит к сдвигу максимальных значений продуцирования  $\text{CO}_2$  на конец августа – начало сентября и в результате диапазон сезонных изменений скорости продуцирования  $\text{CO}_2$  болотной почвы составлял  $6,3 - 6,9 \text{ г } \text{CO}_2 (\text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1})$  [10]. В литературе имеется большое количество работ по зависимости фотосинтеза от влажности мхов [8, 11–13]. Однако таких исследований в связи с УПГВ значительно меньше, хотя в этом случае учитывается не только зависимость от изменения влажности мхов, но и от величины массы мхов, находящихся в аэробных условиях. Также практически нет исследований по зависимости нетто-продукции экосистемы (NEE) от УПГВ при изменении метеорологических факторов.

**Цель работы** – установить влияние температуры и влажности воздуха, а также солнечной радиации при разном УПГВ на газообмен  $\text{CO}_2$  с поверхности ненарушенного сфагнового покрова (NEE) и газообмена заболоченного соснового древостоя (*Pinus sylvestris*).

**Объекты и методика.** Исследования проводили в стационаре «Городище» Института лесоведения РАН (Угличский район Ярославской области, подзона южной тайги) в болотном пушицево-сфагновом сосняке на торфяной почве. Сомкнутость насаждения составляет 0,3. Микрорельеф мелкозападинный. Мощность торфяной залежи около 1 м. Корневые шейки старых сосен до глубины 40 –

60 см погружены в торф. Сосняк пушицево-сфагновый, древостой Vб класса бонитета, представлен двумя поколениями сосны, возраст 54 и 144 лет. Травяно-кустарничковый ярус высотой 49 – 60 см, с проективным покрытием 70 – 75 %, в котором доминирует пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*), багульник (*Lédum palustre*), а также клюква (*Oxycoccus palustris*). Моховой покров сплошной, с доминированием *Sphagnum fuscum*, при участии *Sph. medium* и *Sph. Rubellum* [14], УПГВ в зависимости от особенностей вегетационного периода и осадков может изменяться от 0 до 50 см.

Газообмен с поверхности сфагнового покрова, интенсивность фотосинтеза сосны и эмиссию  $\text{CO}_2$  с поверхности стволов определяли по открытой схеме по методу Edwards и Sollins [15]. Для этого на подушку сфагнумов устанавливали прозрачную камеру диаметром 20 см и высотой 10 см, через которую над поверхностью мхов в камере поддерживали постоянный проток атмосферного воздуха со скоростью 60 – 100 л/ч. На стволе сосны была установлена полиэтиленовая камера. Для определения интенсивности фотосинтеза хвои сосны также использовали открытую систему, в полиэтиленовой камере которой находился охвоенный побег. Измерение эмиссии  $\text{CO}_2$  проводили инфракрасным газоанализатором «LI-820» (Li-Cor, США), работающим по абсолютной схеме. Показания газоанализатора регистрировались логгером (EMS, Чехия) каждые 20 секунд одновременно с приходящей к поверхности солнечной радиацией, температурой почвы и воздуха и влажностью воздуха. Регистрация показаний газообмена  $\text{CO}_2$  проводилась круглосуточно с помощью оригинального автоматического устройства для записи данных по газообмену растений, которое управлялось логгером. Устройство позволяет осуществлять проведение эксперимента попеременно на пяти объектах, т. е. определяли газообмен с поверхности сфагнума, с по-

верхности стволов деревьев и интенсивность фотосинтеза. В газоанализатор поступал сначала воздух, прошедший через экспериментальную камеру, а затем воздух, поступающий в камеру. Время опроса всех камер регулируется от 15 до 35 мин. Данные, полученные за 3 – 5 суток, переносились с логгера в память компьютера.

Газообмен  $\text{CO}_2$  рассчитывался по формуле:

$$G_{sph} = (C_b - C_{control}) F/S, \quad (1)$$

где  $G_{sph}$  – газообмен  $\text{CO}_2$  с поверхности естественно растущих сфагнумов (в  $\text{мкмоль} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ );  $C_b$  – концентрации  $\text{CO}_2$ , прошедшего через камеру;  $C_{control}$  – концентрации  $\text{CO}_2$  в окружающем воздухе, поступающем в камеру ( $\text{мкмоль} \cdot \text{СО}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ );  $F$  – поток воздуха через камеру ( $\text{л} \cdot \text{мин}^{-1}$ );  $S$  – площадь поверхности подушки сфагнума в камере ( $\text{м}^2$ ). Газообмен  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнума, с поверхности стволов и интенсивность фотосинтеза хвои сосны измеряли несколько раз за вегетационный период, когда УПГВ был на разных глубинах: в мае 2009 г. – 4 см, в июне 2009 г. – 7 см, в июле 2009 г. – 33 см, в августе 2009 г. – 21 см и в августе 2011 г. – 43 см.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты экспериментальных исследований показали значительную изменчивость  $\text{CO}_2$ -обмена с поверхности сфагнума в зависимости от поступления солнечной радиации при разных УПГВ. Когда УПГВ находится на небольшой глубине от поверхности (4–7 см), наблюдается поглощение  $\text{CO}_2$  сфагнумом из атмосферы, которое выражается логарифмической зависимостью от солнечной радиации. При солнечной радиации больше  $100 \text{ Вт/м}^2$  ( $190 \text{ мкмоль} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ) величина поглощения  $\text{CO}_2$  составляет от 0,5 до  $1,0 \text{ мкмоль} \cdot \text{СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . С понижением УПГВ до 21 см газообмен с поверхности сфагнума также показывает логарифмическую зависимость от солнечной радиации, но в этом случае наблюдается эмиссия  $\text{CO}_2$  от 4 до  $7 \text{ мкмоль} \cdot \text{СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . С дальнейшим понижением УПГВ эмиссия  $\text{CO}_2$  увеличивается и составляет около  $10 \text{ мкмоль} \cdot \text{СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ , при этом зависимости от солнечной радиации не наблюдается. При УПГВ 43 см эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнума снова уменьшалась до  $5 \text{ мкмоль} \cdot \text{СО}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . Эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнума, когда УПГВ находится на глубине 7 и 43 см, представлена на рис. 1.

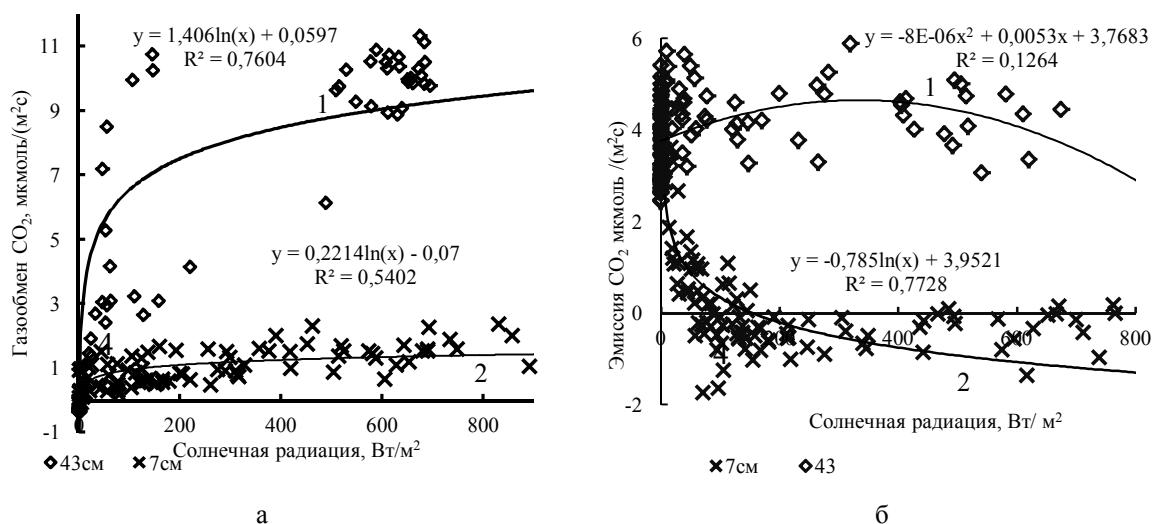


Рис. 1. Газообмен  $\text{CO}_2$  хвои сосны (а) и с поверхности сфагнума (б) при УПГВ=7 и 43 см

Анализ показал корреляцию газообмена  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнома ( $F$ ,  $\text{мкмоль CO}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ) с УПГВ, температурой и влажностью воздуха, и солнечной радиацией (-0,77; 0,26; 0,18 и -0,04 соответственно). Таким образом, наиболее значимым фактором является УПГВ, далее идёт температура и влажность воздуха и менее всего солнечная радиация.

Дисперсионный анализ показал значимую зависимость эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнума от всех принятых во внимание переменных: УПГВ ( $WL$ ), температуры ( $T$ ) и влажности ( $RH$ ) воздуха и солнечной радиации ( $Q$ ). Критерий Фишера  $F$  составил соответственно 316, 2258, 2541, 288 ( $F$  критическое 3,87). Таким образом, температура и влажность воздуха показали самое высокое значение, затем уровень поверхностных грунтовых вод и солнечная радиация.

На основе полученных данных было рассчитано уравнение (2) зависимости обмена  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнома ( $F$ ) от солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, а также УПГВ:

$$F = (aQ + bQ^2 + c) \cdot (dRH + e) \cdot (fT + g) \times (hWL + iWL^2 + jWL^3) \quad (2)$$

$n=330, r=0,88,$

где  $Q$  – солнечная радиация,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $H$  – влажность воздуха, %;  $T$  – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $WL$  – УПГВ, см;  $a = 0,00911$ ;

$b = -9,9\text{E-}06$ ;  $c = -2,1339$ ;  $d = -6,1\text{E-}05$ ;  $e = 0,00208$ ;  $f = -0,01635$ ;  $g = 0,06732$ ;  $h = 334,4991$ ;  $i = -33,4788$ ;  $j = 0,5710$ .

Взаимосвязь экспериментальных и расчётных данных показана на рис. 2.

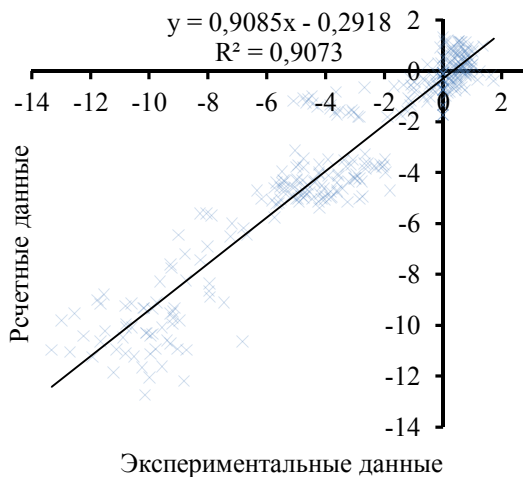


Рис. 2. Взаимосвязь экспериментальных и расчётных данных газообмена  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнума вместе с почвой при УПГВ от 0 до 43 см

Динамика УПГВ в течение вегетационного периода год от года значительно изменяется. Обычно уровень грунтовых вод имеет закономерное понижение к концу сезона, что приводит к сдвигу максимальных значений скорости дыхания на конец августа – начало сентября [16].

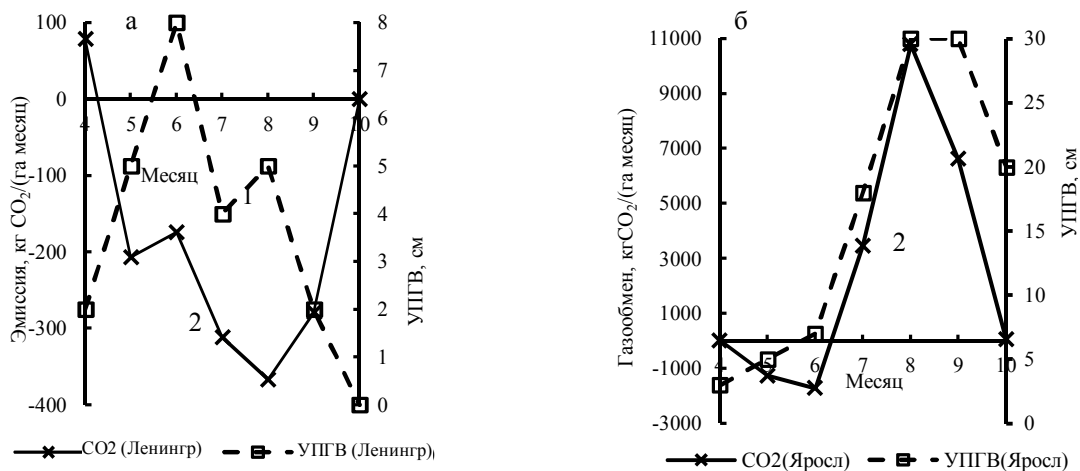


Рис. 3. Динамика УПГВ в течение вегетационного периода в южной тайге в Ленинградской области по данным С.Э. Вомперского [17] и рассчитанная эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнового покрова на этих участках неосушенных пушицево-сфагновых сосняков в 1962 г (а) и Ярославской области в среднем за 2009-2011 гг. (б)

По нашим данным, на исследуемой пробной площади в южной тайге УПГВ в 2009–2011 гг., с апреля до июня был 2–7 см, а затем с июля до октября был в диапазоне от 20 до 40 см. Такое изменение УПГВ на неосушенных верховых болотах в предшествующие десятилетия происходило значительно реже. Так, по данным С.Э. Вомперского [17], в болотном пушицево-сфагновом сосняке Vб бонитета в 1962 г. УПГВ был в мае 0–4 см, а в сентябре 2 см (рис. 3). Используя эти значения УПГВ, а также данные поступления солнечной радиации и температуры и влажности воздуха в 1995 г., полученные в обсерватории МГУ, по уравнению (2) рассчитали величины эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнома в течение вегетационных периодов (табл. 1).

Как видим, в Ярославской обл. в Углическом районе в 2009–2011 гг., когда в первой половине вегетационного периода УПГВ был 2–7 см, эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнума вместе с почвой была отрицательной ( $-0,9$ :  $-1,5$  мкмоль  $\text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ), т. е. наблюдается поглощение сфагнумом  $\text{CO}_2$ , когда грунтовые воды ушли на глубину 20–30 см, эмиссия стала положительной, и в сентябре, при

среднемесячной температуре воздуха  $12^\circ\text{C}$ , составила  $8,2$  мкмоль  $\text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . В итоге, за вегетационный период при таких условиях окружающей среды эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнома вместе с почвой выделила  $22,2$  т  $\text{CO}_2$  с га.

В Ленинградской области в 1962 г. [17] примерно в таком же болотном пушицево-сфагновом сосняке Vб бонитета изменение УПГВ наблюдалось значительно меньше: за весь вегетационный период от 1 до 7 см. В результате при таких же метеоданных как в Ярославской области, но иных УПГВ, эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнома практически в течение всего вегетационного периода оставалась отрицательной, т. е. происходило поглощение  $\text{CO}_2$  поверхностью сфагнома. За весь вегетационный период поверхность сфагнома поглотила  $6,1$  т  $\text{CO}_2$  с га (табл. 1). Таким образом, при высоком уровне УПГВ в болотном пушицево-сфагновом сосняке поверхность сфагнома вместе с почвой поглощает более  $6$  т  $\text{CO}_2$  с га, тогда как в условиях, когда во второй половине лета происходит снижение УПГВ ниже  $20$  см, наблюдается эмиссия  $\text{CO}_2$ , с поверхности сфагнома – уходит в атмосферу более  $22$  т  $\text{CO}_2$ .

Таблица 1

**Расчётные данные газообмена  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнового покрова по уравнению (2) в разных условиях УПГВ ( $\text{кг CO}_2 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{сутки}^{-1}$ ) в течение вегетационного периода**

| Месяц                                                    | Среднемесячные метеоданные            |                      |                                    | Эмиссия $\text{CO}_2$ |                                           |                                |               |                                           |                                |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                          |                                       |                      |                                    | 1962 г.               |                                           |                                | 2009-2011 гг. |                                           |                                |
|                                                          | Температура воздуха, $^\circ\text{C}$ | Влажность воздуха, % | Солнечная радиация, $\text{В/м}^2$ | УПГВ, см              | Мкмоль $\text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$ | Кг $\text{CO}_2/\text{га сут}$ | УПГВ, см      | Мкмоль $\text{CO}_2/(\text{м}^2\text{с})$ | Кг $\text{CO}_2/\text{га сут}$ |
| IV                                                       | 6,4                                   | 50                   | 200                                | 2                     | -0,86                                     | -32,70                         | 2             | -0,86                                     | -32,70                         |
| V                                                        | 12,8                                  | 50                   | 300                                | 6                     | -1,43                                     | -54,42                         | 5             | -1,42                                     | -54,42                         |
| VI                                                       | 17,0                                  | 40                   | 350                                | 7                     | -1,48                                     | -56,20                         | 7             | -1,48                                     | -56,20                         |
| VII                                                      | 18,5                                  | 40                   | 300                                | 3                     | -1,09                                     | -41,58                         | 18            | 2,60                                      | 98,78                          |
| VIII                                                     | 17,5                                  | 50                   | 250                                | 4                     | -0,92                                     | -34,86                         | 30            | 7,79                                      | 296,13                         |
| IX                                                       | 12                                    | 60                   | 150                                | 2                     | -0,05                                     | -2,00                          | 30            | 8,24                                      | 313,20                         |
| X                                                        | 6,1                                   | 60                   | 75                                 | 1                     | 0,51                                      | 19,54                          | 20            | 4,61                                      | 175,12                         |
| В среднем за сутки                                       | -                                     | -                    |                                    |                       | -0,76                                     | -28,9                          |               | 2,78                                      | 105,7                          |
| Сумма за вегетационный период, т $\text{CO}_2/\text{га}$ |                                       |                      |                                    |                       |                                           | -6,07                          |               |                                           | 22,20                          |

Одновременно с определением эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности сфагнома на этой же пробной площади проводилось определение интенсивности фотосинтеза хвои сосны. По полученным данным были построены световые кривые фотосинтеза, которые показали, что, когда в пушицево-сфагновом сосняке УПГВ стоял ниже 20 – 30 см, интенсивность фотосинтеза при световом насыщении в этих условиях была около  $9 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . При высоком стоянии УПГВ (7 см), когда у сфагнома наблюдается поглощение  $\text{CO}_2$  из атмосферы, интенсивность фотосинтеза хвои сосны значительно снизилась и равна при световом насыщении только  $1 - 2 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  (см. рис.1). Наши предыдущие исследования также показали [18], что, когда в болотном пушицево-сфагновом сосновом насаждении уровень грунтовых вод опускается глубже 20 см, интенсивность фотосинтеза сосны приближается к интенсивности сосны в кислочно-черничном типе леса, а при уровне 4 см составляла только 0,5 интенсивности. Наши предыдущие расчёты фотосинтетической продуктивности на основе метеоданных 1995 г. [19, 20] показали, что в кислочно-черничном сосняке Ia класса бонитета она составила  $38,65 \text{ т } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ , а в пушицево-сфагновом

сосняке Vб бонитета при УПГВ равном 0–10 см только  $3,17 \text{ т } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ .

На основе полученных данных были построены зависимости интенсивности эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности стволов от температуры. Зависимость эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности ствола от температуры воздуха при разных УПГВ в пушицево-сфагновом сосняке представлена на рис. 4. Так, при температуре  $10 - 25^\circ\text{C}$  в пушицево-сфагновом сосняке у дерева интенсивного роста (мы приняли его за дерево I класса роста) эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности ствола была  $1,0 - 2,0 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . У деревьев слабого роста (IV класса роста) интенсивность дыхания ствола была ниже и составила  $0,3 - 0,7 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

По экспериментальным данным были рассчитаны зависимости дыхания ствола от температуры воздуха (рис. 5). В пушицево-сфагновом сосняке у деревьев I класса роста  $y = 0,9773 \ln(x) - 1,1261$ ,  $r^2 = 50$ . Для деревьев IV класса роста в пушицево-сфагновом сосняке  $y = 0,3098 \ln(x) - 0,3152$ ,  $r^2 = 0,21$ , где  $y$  – интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности ствола;  $x$  – температура воздуха. Таким образом, с ухудшением условий произрастания эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности ствола у деревьев разного класса роста существенно снижается.

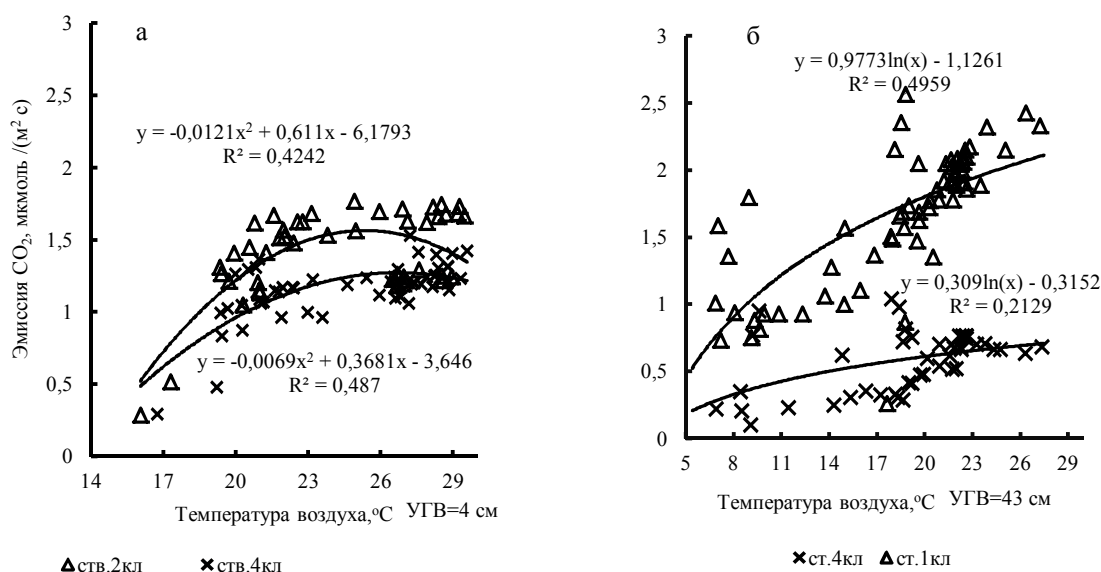


Рис. 4. Температурные кривые эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности стволов у деревьев I и IV класса роста при уровне почвенно-грунтовых вод 4 см (а) и 43 см (б)

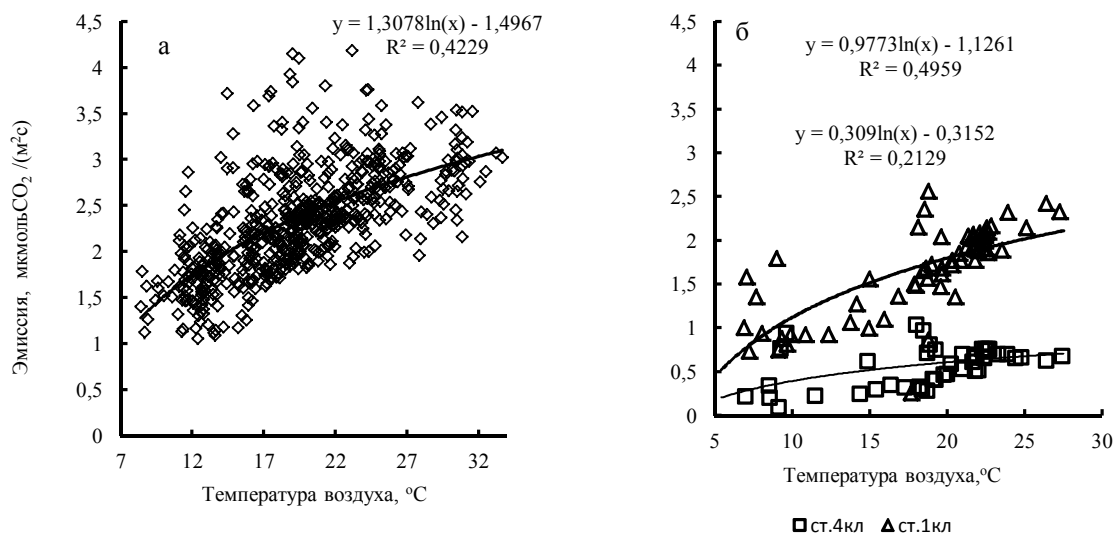


Рис. 5. Температурные кривые эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности стволов у деревьев в чернично-кисличном сосняке (а) и в пушицево-сфагновом сосняке Vб бонитета у деревьев I и IV класса роста при уровне почвенно-грунтовых вод 43 см (б)

В Сибири интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности ствола сосны в летний период была  $4 \text{ мг } \text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$  ( $2,5 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ) [21], при пересчёте на древостой она получилась  $7,1 - 9,7 \text{ т } \text{CO}_2 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  [22]. В восточной Финляндии [23] получены дневные изменения дыхания ствола в разные периоды вегетации: осенью интенсивность мало изменялась в течение дня и составляла около  $0,3 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , летом ночью  $0,8 - 1,1$ , а днём  $1,0 - 1,7 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , т. е. в среднем в летний период интенсивность была около  $1,2 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$  (или  $1,9 \text{ мг } \text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ ). Годичное дыхание стволов в пересчёте на древостой было близко к  $75 \text{ г } \text{C} \cdot \text{м}^{-2}$  ( $275 \text{ г } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2}$ ) и составляло 8 % от GPP.

Используя таксационные данные [14], получили, что поверхность стволов в исследуемом нами пушицево-сфагновом сосняке равна  $1300 \text{ м}^2 \cdot \text{га}^{-1}$ . Так как эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности стволов у деревьев разного класса роста мало меняется, то допустили, что средняя интенсивность дыхания стволов при УПГВ 4 см равна  $1,4 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  (или

$5,32 \text{ г } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ). В этом случае получится, что эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности стволов на га равна  $6,9 \text{ кг } \text{CO}_2 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$ . При УПГВ 43 см у деревьев I класса роста эмиссия  $\text{CO}_2$  поверхности стволов мало изменяется, только у деревьев IV класса эмиссия  $\text{CO}_2$  снизилась (см. рис. 3), но так как таких деревьев в древостое мало, то можно считать, что эта величина составила в среднем  $1,2 \text{ мкмоль } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , или  $4,46 \text{ г } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ , или  $5,8 \text{ кг } \text{CO}_2 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$  (табл. 2). На основе разработанной ранее методики [20, 24, 25] определения фотосинтетической продуктивности по поглощённой солнечной радиации и коэффициенту использования поглощённой солнечной радиации на фотосинтез получили, что в пушицево-сфагновом сосняке при УПГВ равном 0 – 10 см поглощение  $\text{CO}_2$  за вегетационный период  $317,2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ , а в середине июня –  $21,3 \text{ кг } \text{CO}_2 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$  [13]. При УПГВ равном 30 – 40 см поглощение  $\text{CO}_2$  хвоей соснового древостоя увеличится в два раза [18] и составит  $634,4 \text{ г } \text{CO}_2 \cdot \text{м}^{-2}$  или в середине июня  $42,6 \text{ кг } \text{CO}_2 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$  (табл. 2).

Таблица 2

**Составляющие газообмена CO<sub>2</sub> сосновых экосистем и их фракций в разных условиях  
УПГВ [19, 20]**

| Показатели                                                | Сосняк чернично-кисличный                |                              | Заболоченный сосняк<br>УПГВ=1–7см<br>(1962 г) |                              | Заболоченный сосняк<br>УПГВ=3–30см<br>(2009–2011 гг) |                              |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------|
|                                                           | кг CO <sub>2</sub> /га<br>сут.<br>в июне | т CO <sub>2</sub> /га<br>год | кг CO <sub>2</sub> /га<br>сут.                | т CO <sub>2</sub> /га<br>год | кг CO <sub>2</sub> /га<br>сут.                       | т CO <sub>2</sub> /га<br>год |
| Экосистемная<br>нетто-продукция                           | 29                                       | 10,55                        | 49,1                                          | 9,1                          | -52,3                                                | -13,5                        |
| Поглощение хвоей сосны<br>CO <sub>2</sub>                 | 220                                      | 38,5                         | 21,3                                          | 3,2                          | 42,6                                                 | 6,3                          |
| Ночное дыхание хвои                                       | -15,2                                    | -2,9                         | -1,6                                          | -0,3                         | -4,0                                                 | -0,7                         |
| Поглощение CO <sub>2</sub> сфагну-<br>мом вместе с почвой | -                                        | -                            | 36,3                                          | 7,6                          | -85,1                                                | -17,9                        |
| Эмиссия CO <sub>2</sub> почвой<br>с корнями               | -100                                     | -16,25                       | -                                             | -                            | -                                                    | -                            |
| Эмиссия CO <sub>2</sub><br>с поверхности стволов<br>сосны | -72                                      | -8,8                         | -6,9                                          | -1,4                         | -5,8                                                 | -1,2                         |

**Заключение.** Таким образом, когда УПГВ находится на уровне 1 – 7 см в течение вегетационного периода, NEE изучаемого болотного пушицево-сфагнового сосняка составляет 9,1 т CO<sub>2</sub>/га за вегетационный период, из которого 7,6 т CO<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup> формируются за счёт сфагновых мхов, а 3,2 т·га<sup>-1</sup> за счёт деревьев сосны (фотосинтез хвои минус дыхание ствола и ночное дыхание хвои). При снижении УПГВ с середины лета на 20–30 см NEE становится отрицательной и составила -13,5 т CO<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup> за вегетационный период. Деревья сосны поглощают в этом случае в два раза больше диоксида углерода, однако количество хвои в сосняке не увеличивается, и это не ведёт к положи-

тельному газообмену биогеоценоза в целом. Чернично-кисличный сосняк Ia бонитета при таких же погодных условиях имел NEE 10,55 т CO<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>.

В результате, в настоящее время, в связи с потеплением климата, в подзоне южной тайги во второй половине лета часто наблюдается снижение УПГВ ниже 20 см. В этом случае NEE пушицево-сфагнового биогеоценоза становится отрицательной и даже сосняк Ia класса бонитета не может компенсировать эту эмиссию на такой же площади произрастания. Тем не менее, когда УПГВ стоит на уровне 2 – 7 см NEE болотного соснового пушицево-сфагнового биогеоценоза сравнимо с NEE чернично-кисличного сосняка Ia бонитета.

**Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K Восстановление торфяных болот), а также проектов РФФИ (№14-04-01568-а; № 14 -05-00797-а).**

#### Список литературы

1. Вомперский С.Э., Сири́н А.А., Цыганова О.П. и др. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Известия РАН. Сер. географическая. 2005. № 5. С. 21–33.
2. Вомперский С.Э., Сири́н А.А., Сальников А.А. и др. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. № 5. С. 3–11.
3. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main Report. Parish F., Sirin A.,



Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. (Eds.) Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. 2008. 179 p. <http://www.gec.org.my/index.cfm?&menuid=48&parentid=63> (дата обращения 20.03.2015).

4. Заварзин Г. А., Дедыш С. Н. Микробные процессы в болотных экосистемах: изменения природных вод под влиянием деятельности микроорганизмов // Изменение окружающей среды и климата, природные и связанные с ними техногенные катастрофы. М.: ИФЗ РАН, 2008. Т. IV. С. 80-96.

5. Климанов В.А., Сирин А.А. Динамика торфо-накопления болотами Северной Евразии за последние 3000 лет // Доклады РАН. 1997. Т. 354. № 5. С. 683-686.

6. Минаева Т.Ю., Трофимов С.Я., Чичагова О.А. и др. Накопление углерода в почвах лесных и болотных экосистем южного Валдая в голоцене // Известия РАН. Серия биологическая. 2008. № 5. С. 607-616.

7. Минаева Т.Ю., Сирин А.А. Охрана болот в России: состояние и перспективы // Болота и заболоченные леса в свете устойчивого природопользования. М.: ГЕОС, 1999. С. 356-360.

8. Schipperges B., Rydin H. Response of photosynthesis of *Sphagnum* species from contrasting microhabitats to tissue water content and repeated desiccation // *New Phytol.* 1998. Vol. 140. Pp. 677-684.

9. Вомперский С.Э. Влияние современного климата на болотообразование и гидролесомелиорацию // Структура и функции лесов Европейской России / Отв. ред. Уткина И.А. М.: ТНИ КМК, 2009. С. 31-51.

10. Наумов А.В., Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Продуцирование CO<sub>2</sub> торфяной почвой слабо осушенного мезотрофного болота в связи с гидротермическими условиями сезона // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещания / Отв. ред. Вомперский С.Э., Сирин А.А. М.: ГЕОС. 1999. С. 218-219.

11. Murray K.J., Harley P.C., Beyers J. et al. Water content effects on photosynthetic response of *Sphagnum* mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska // *Oecologia*. 1989. Vol. 79. Pp. 244-250.

12. Silvola J. Combined effects of varying water content and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis in *Sphagnum fuscum* // *Holarctic Ecology*. 1990. Vol. 13. Pp. 224-228.

13. Haraguchi A., Yamada N. Temperature Dependency of Photosynthesis of *Sphagnum* spp. Distributed in the Warm-Temperate and the Cool-Temperate Mires of Japan // *American Journal of Plant Sciences*. 2011. Vol. 2. Pp. 716-725.

14. Арутюнян С.Г., Уткин А.И. Биологическая продуктивность и вертикально-фракционная структура естественных средневозрастных древостоев трех типов сосняков // Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах / Под ред. Исаева А.С., Фрей Т.Э., Орлова А.Я. М.: Наука, 1986. С. 163-177.

15. Edwards N.T., Sollins P. Continuous measurement of carbon dioxide evolution from partitioned forest floor components // *Ecology*. 1973. Vol. 54, № 2. Pp. 406-412.

16. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.

17. Вомперский С.Э. Биологические основы эффективности лесосушения. М.: Наука, 1968. 312 с.

18. Молчанов А.Г. Сравнение интенсивности фотосинтеза сосны в разных эдафических условиях // Лесоведение. 1993. № 6. С. 76-80.

19. Молчанов А.Г. Фотосинтетическая продуктивность заболоченного и суходольного сосновых древостоев // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещания. С. 215-217.

20. Молчанов А.Г. Баланс CO<sub>2</sub> в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. Тула: Гриф и К, 2007. 284 с.

21. Забуга В.Ф., Забуга Г.А. Взаимосвязь дыхательного газообмена CO<sub>2</sub> и радиального роста ствола сосны обыкновенной // Физиология растений. 1985. Т. 32, № 5. С. 942-947.

22. Забуга В.Ф., Забуга Г. А. Дыхание сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.

23. Zha T., Kellomaki S., Wang K-Y., Ryypö A., Ninisto S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions // *Annals of Botany*. 2004. Vol. 94, № 6. Pp. 889-896

24. Молчанов А.Г. Экофизиологическое изучение продуктивности древостоев. М.: Наука, 1983. 136 с.

25. Molchanov A.G. Photosynthetic utilization efficiency of absorbed photosynthetically action radiation by Scots pine and birch forest stands in the southern Taiga // *Tree Physiology*. 2000. Vol. 20, № 17. Pp. 1137-1148.

Статья поступила в редакцию 21.03.16.

#### Информация об авторе

МОЛЧАНОВ Александр Георгиевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института лесоведения РАН. Область научных интересов – газообмен CO<sub>2</sub> в биогеоценозе в зависимости от факторов окружающей среды, биологическая продуктивность лесных биогеоценозов. Автор 100 публикаций.

UDC 581.12/14:630:161.32

DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.82

## DEPENDENCE OF GAS EXCHANGE ON THE LEVEL OF GROUND WATER IN SWAMP COTTON GRASS-SPHAGNUM PINE FORESTS

**A. G. Molchanov**

Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences,  
Uspenskoe, Odintsovo district, Moscow Region, 143030, Russian Federation  
E-mail: a.georgievich@gmail.com

**Key word:** sphagnum; pine; swamp; carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas exchange; the level of the bog water; air temperature; solar radiation; meteorological factors.

### ABSTRACT

**Introduction.** Peat bogs play a very important role in climate regulation, while peat moss bogs can significantly contribute to stable concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. **Goals and objectives.** The work is aimed at the evaluation of CO<sub>2</sub> gas exchange in pine bog cotton grass peat moss biogeocoenosis, as a result of ground water drawdown. **Materials and methods.** The research was carried out in the bog pine biogeocoenosis in the southern taiga (the Yaroslavl Region, Uglich district) during the vegetation period in 2009 and 2011 in different conditions of soil moisture and temperature. The measurement of CO<sub>2</sub> gas exchange was carried out using infrared gas analyzer "LI-820" (Li-Cor, USA) with the open scheme. **Research results.** It has been defined that the dependence of the CO<sub>2</sub> exchange between the surface of sphagnum cover including soil and air is largely determined by the natural water table. Solar radiation incurs ambiguous effect on CO<sub>2</sub> exchange at the value of natural water table variations from 4 to 21 cm. This dependence is represented in the logarithmic form. However, at the value of natural water table below 21 cm the carbon dioxide is emitted, rather than absorbed. Further reduction of natural water table below 30 cm results in independence of CO<sub>2</sub> exchange on solar radiation. Further reduction leads to suppression of emission. With the increasing temperature and natural water table varying from 7 to 21 cm there is a decrease of CO<sub>2</sub> emissions, and at the value of natural water table below 33 cm some increase is observed. When the natural water table is below 43 cm, the effect of temperature is significantly weaker, and CO<sub>2</sub> emissions are reduced by half or more. Using the developed dependence of CO<sub>2</sub> gas exchange emitted from the surface of sphagnum on the environmental factors (natural water table, solar radiation, air temperature and humidity) our research revealed that when the level of natural water table varies from 0 to 8 cm the absorption of CO<sub>2</sub> by sphagnum is comparable with the absorption of CO<sub>2</sub> by Ia quality class pine forest. However in the second half of the vegetation period when the natural water table falls below 20-30 cm there are emissions of CO<sub>2</sub> that cannot be compensated by the pine forest of class Ia. **Conclusion.** When the natural water table amounts to 1-7 cm during the vegetation period, the net ecosystem exchange (NEE) of the bog cotton grass-sphagnum pine forest under study amounts to 7.6 t CO<sub>2</sub> / ha during the vegetation season, including 6.1 t CO<sub>2</sub> / ha from Sphagnum mosses and 3.2 t / ha from pine trees (needles photosynthesis minus trunk respiration and night needle respiration). By reducing the natural water table from mid-summer to 20-30 cm, the net ecosystem exchange becomes negative and amounts to -17.5 t CO<sub>2</sub> / ha during the vegetation period. As a result, at present, due to greenhouse effect observed in the subzone of the southern taiga in the second half of summer there is often a decrease in natural water table below 20 cm. In this case, the net ecosystem exchange of cotton grass-sphagnum biogeocoenosis becomes negative and even pine forest of Ia quality class cannot compensate for these emissions produced on the same area. However, when the natural water table stands at 2-7 cm the net ecosystem exchange in bog pine cotton grass-sphagnum biogeocoenose is close to net ecosystem exchange in bilberry-pine of Ia quality class.

The research was supported by the project "Restoration of peat bogs in Russia in order to prevent fires and climate change mitigation" funded under the international climate initiative by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety of the Federal Republic of Germany and managed through the German Development Bank KfW (project No 11 (III) 040 RUS K Restore peat bogs), as well as by the Russian Foundation for Basic Research (No 14-04-01568-a; No 14 -05-00797-a).

## REFERENCES

1. Vomperskij S.E., Sirin A.A., Cyganova O.P., et al. Bolota i zabolochennye zemli Rossii: popytka analiza prostranstvennogo raspredeleniya i raznoobraziya [Bogs and wet peatland areas in the Russian Federation: attempt to analyze spatial distribution and variety]. *Izvestia RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestia of the Russian Academy of Science, Geography series]. 2005. No 5. Pp. 21-33.
2. Vomperskij S.E., Sirin A.A., Salnikov A.A., et al. Ocenka ploshchadi bolotnyh i zabolochennyh lesov Rossii [Areal assessment of the wet peatlands and bogs in Russia]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2011. No 5. Pp. 3-11.
3. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main Report. Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. (Eds.) Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. – 2008. 179 p. <http://www.gec.org.my/index.cfm?&menuid=48&parentid=63> (Reference date: 20.03.2015).
4. Zavarzin G.A., Dedysh S.N. Mikrobye processy v bolotnyh ehkositemah: izmeneniya prirodnyh vod pod vliyaniem deyatel'nosti mikroorganizmov [Microbic processes occurring in wet peatland ecosystems: changes in the natural water caused by microorganisms]. *Izmenenie okruzhayushchej sredy i klimata prirodnye i svyazannye s nimi tekhnogennye katastrofy* [Natural changes of the environment and climate and consequent antropogenic disasters]. Moscow: IFZ RAN, 2008. Vol. IV. Pp. 80-96.
5. Klimanov V.A., Sirin A.A. Dinamika torfonakopleniya bolotami Severnoj Evrazii za poslednie 3 000 let [Dynamics of peat accumulation in the bogs of the Northern Eurasia for the past 3000 years]. *Doklady RAN* [Report of the Russian Academy of Science]. 1997. Vol. 354. No 5. Pp. 683-686.
6. Minaeva T.Yu., Trofimov S.Ya., Chichagova O.A., et al. Nakoplenie ugleroda v pochvah lesnyh i bolotnyh ehkositem yuzhnogo Valdaya v golocene [Carbon sequestration in soil in forest and bog ecosystems in the South Valday in Holocene]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [Izvestiya of the Russian Academy of Science. Biology series]. 2008. No 5. Pp. 607-616.
7. Minaeva T.Yu., Sirin A.A. Ohrana bolot v Rossii sostoyanie i perspektivy-bolota i zabolochennye lesa v svete ustojchivogo prirodopolzovaniya [Protection of bogs in the Russian Federation. Condition and prospects of bogs in the light of sustainable nature management]. Moscow: Geos, 1999. Pp.356-360.
8. Schipperges B., Rydin H. Response of photosynthesis of Sphagnum species from contrasting microhabitats to tissue water content and repeated desiccation. *New Phytol.* 1998. Vol. 140. Pp. 677-684.
9. Vomperskij S.E. Vliyanie sovremennogo klimata na bolotoobrazovanie i gidrolesomeliaciyu [The impact of contemporary climate on bog formation and hydro-forest-amelioration]. *Struktura i funktsii lesov Evropejskoj Rossii / Otv. red. Utkina I.A.* [Structure and functions of forests in the European part of Russia, edited by I.A. Utkina]. Moscow: TNI KMK, 2009. Pp. 31-51.
10. Naumov A.V., Efremova T.T., Efremov S.P. Prodcirovanie CO<sub>2</sub> torfyanoj pochvoj slabo osushennogo mezotrofnogo bolota v svyazi s gidrotermicheskimi usloviyami sezona [CO<sub>2</sub> production in the peat soil of half dried mesomorphic bog as a result of hydrothermal seasonal conditions]. *Bolota i zabolochennye lesa v svete zadach ustojchivogo prirodopolzovaniya. Materialy soveshchaniya / Otv. red. Vomperskij S.E., Sirin A.A.* [Condition and prospects of bogs in the light of sustainable nature management. Proceedings of the meeting, edited by Vomperskij S.E., Sirin A.A.]. Moscow: GEOS, 1999. Pp. 218-219.
11. Murray K.J., Harley P.C., Beyers J. et al. Water content effects on photosynthetic response of Sphagnum mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska. *Oecologia*. 1989. Vol.79. Pp. 244-250.
12. Silvola J. Combined effects of varying water content and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis in Sphagnum fuscum. *Holarctic Ecology*. 1990. Vol. 13. Pp. 224-228.
13. Haraguchi A., Yamada N. Temperature Dependence of Photosynthesis of Sphagnum spp. Distributed in the Warm-Temperate and the Cool-Temperate Mires of Japan. *American Journal of Plant Sciences*. 2011. Vol. 2. Pp. 716-725.
14. Arutyunyan S.G., Utkin A.I. Biologicheskaya produktivnost i vertikalno-frakcionnaya struktura estestvennyh srednevozrastnyh drevostoev trekh tipov sosnyakov [Biological productivity and vertical and fractionous structure of middle aged forest stands in three types of coniferous stands]. *Vertikalno-frakcionnoe raspredelenie fitomassy v lesah* [Vertical and fractionous phytomass distribution in forests]. Edited by Isaev A.S., Frej T.Eh.-A., Orlov A.Ya. Moscow: Nauka, 1986. Pp. 163-177.
15. Edwards N.T., Sollins P. Continuous measurement of carbon dioxide evolution from partitioned forest floor components. *Ecology*. 1973. Vol. 54. № 2. Pp. 406-412.
16. Naumov A.V. Dyhani pochvy: sostavlyayushchie, ehkologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti. [Respiration of soil; constituent components, environmental functions, geographical regularities]. Novosibirsk: Publishing house SO RAN, 2009. 208 p.
17. Vomperskij S.E. *Biologicheskie osnovy ehffektivnosti lesoosusheniya* [Biological grounds of the forest drainage efficiency]. Moscow: Nauka, 1968. 312 p.

18. Molchanov A.G. Sravnenie intensivnosti fotosinteza sosny v raznyh ehdafigicheskikh usloviyakh [Comparative analysis of photosynthesis intensity in pine under variety of edaphic conditions]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 1993. No 6. Pp.76-80.
19. Molchanov A.G. Fotosinteticheskaya produktivnost zabolochennogo i suhodolnogo sosnovykh drevostoev [Photosynthetic productivity of wet and dry pine forest]. *Bolota i zabolochennye lesa v svete zadach ustojchivogo prirodnopolzovaniya. Materialy soveshchaniya* [Bogs and bogged forest in the light of sustainable nature management issue. Proceedings of the meeting]. Moscow: GEOS, 1999. Pp. 215-217.
20. Molchanov A.G. *Balans CO<sub>2</sub> v ehkosistemah sosnyakov i dubrav v raznykh lesorastitelnykh zonakh* [CO<sub>2</sub> balance in pine and oak forest ecosystems in various forest zones]. Tula: Grif and K, 2007. 284 p.
21. Zabuga V.F., Zabuga G.A. Vzaimosvyaz dyhatelnogo gazoobmena CO<sub>2</sub> i radialnogo rosta stvo-  
la sosny obyknovennoj [Interdependence of reparative CO<sub>2</sub> gas exchange and the radial growth of Scots pine]. *Fiziologiya rastenij* [Physiology of plants]. 1985. Vol. 32, No 5. Pp. 942-947.
22. Zabuga V.F., Zabuga G.A. *Dyhanie sosny obyknovennoj* [Respiration of a Scots pine]. Novosibirsk: Nauka, 2013. 208 p.
23. Zha T., Kellomaki S., Wang K-Y., Ryyp-po A., Ninisto S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions. *Annals of Botany*. 2004. Vol. 94. № 6. Pp. 889-896.
24. Molchanov A.G. *Ehkofiziologicheskoe izuchenie produktivnosti drevostoev* [Ecological and physiological studies of the forest stands productivity]. Moscow: Nauka, 1983. 136 p.
25. Molchanov A.G. Photosynthetic utilization efficiency of absorbed photosynthetically action radiation by Scots pine and birch forest stands in the southern Taiga. *Tree Physiology*. 2000. Vol. 20, No17. Pp. 1137-1148.

The article was received 21.03.16.

**Citation for an article:** Molchanov A. G. Dependence of Gas Exchange on the Level of Gound Water in Swamp Cotton Grass-Sphagnum Pine Forests. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2016. No 2(30). Pp. 82-93. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.82

#### Information about the authors

*MOLCHANOV Alexandr Georgievich* – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences. Research interests – CO<sub>2</sub> gas exchange in biogeocoenosis depending on the environmental factors, biological productivity of forest biogeocoenoses. Author of 100 publications.