

Нетто CO₂-обмен и испарение сфагнового болота: результаты экспериментальных наблюдений и расчетов с помощью трехмерной математической модели

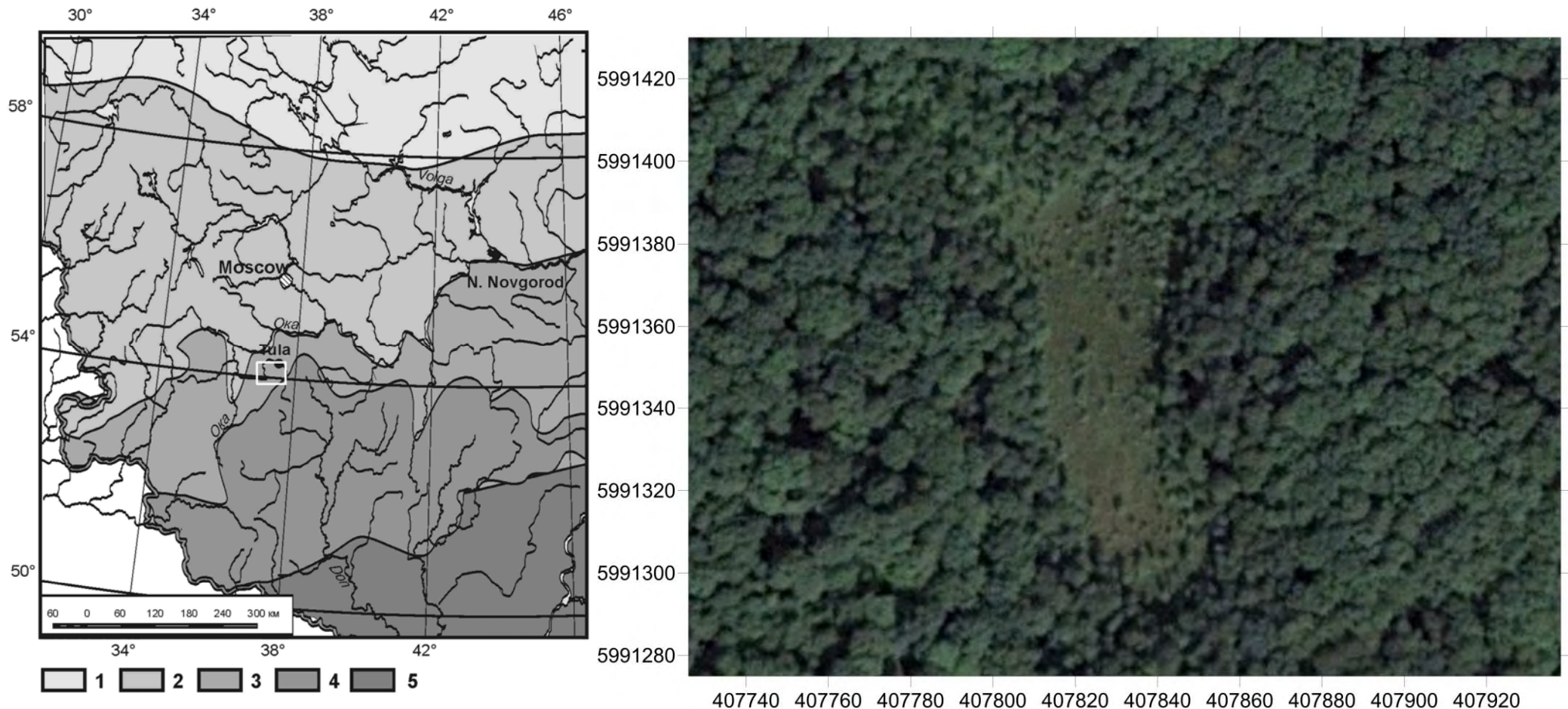
***Ольчев А.В.¹, Волкова Е.М.², Каратаева Т.А.², Зацаринная Д.В.²,
Новенко Е.Ю.³***

¹ *Институт Проблем Экологии и Эволюции им. А. Н. Северцова
Российской академии наук, Москва, Россия*

² *Тульский государственный университет, Тула, Россия*

³ *Институт Географии Российской академии наук, Москва, Россия*

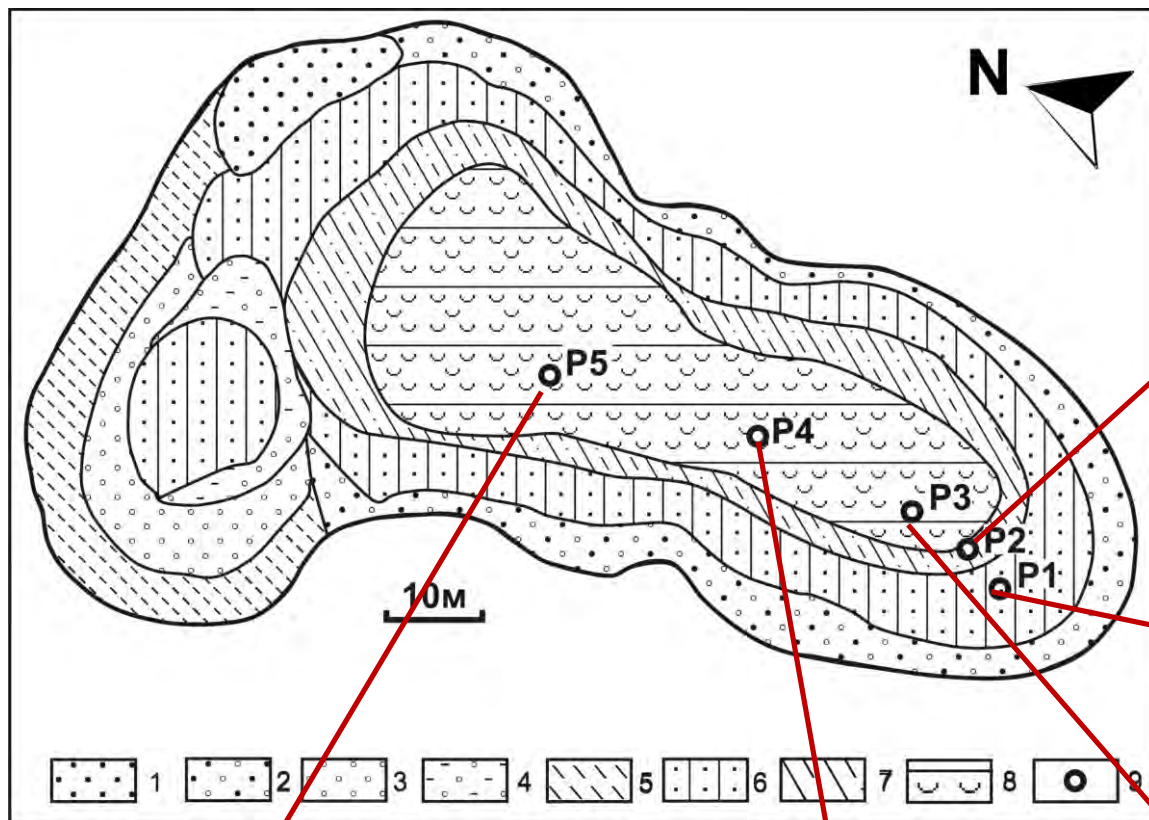
Основной целью исследования являлось: определение масштабов пространственно-временной изменчивости и оценка интегральных потоков $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ для мезоолиготрофного болота, расположенного в зоне широколиственных лесов на территории Тульской области, по данным экспериментальных наблюдений и модельных расчетов.



37.5918° E , 54.0620° N , 260 m a.s.l.

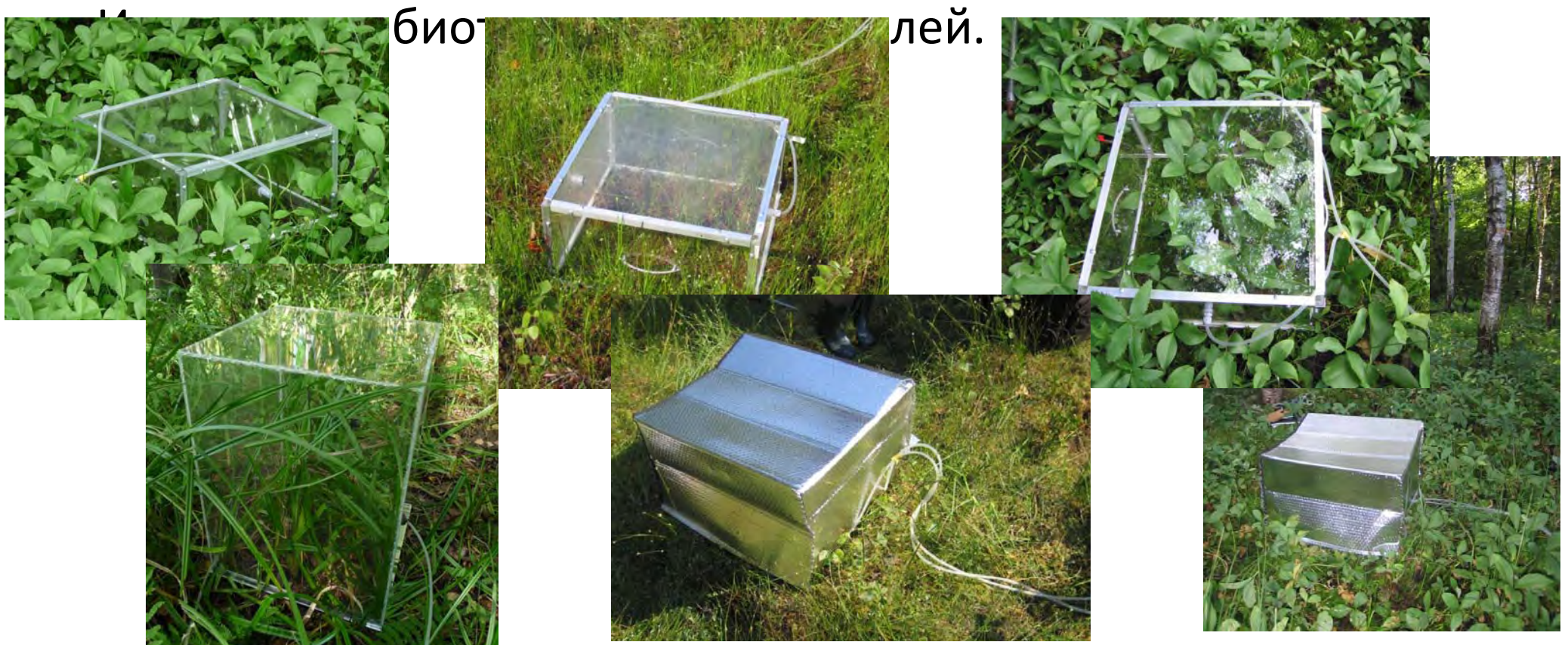
Система координат UTM (37N)

Карстово-суффозионное болото «Главное»

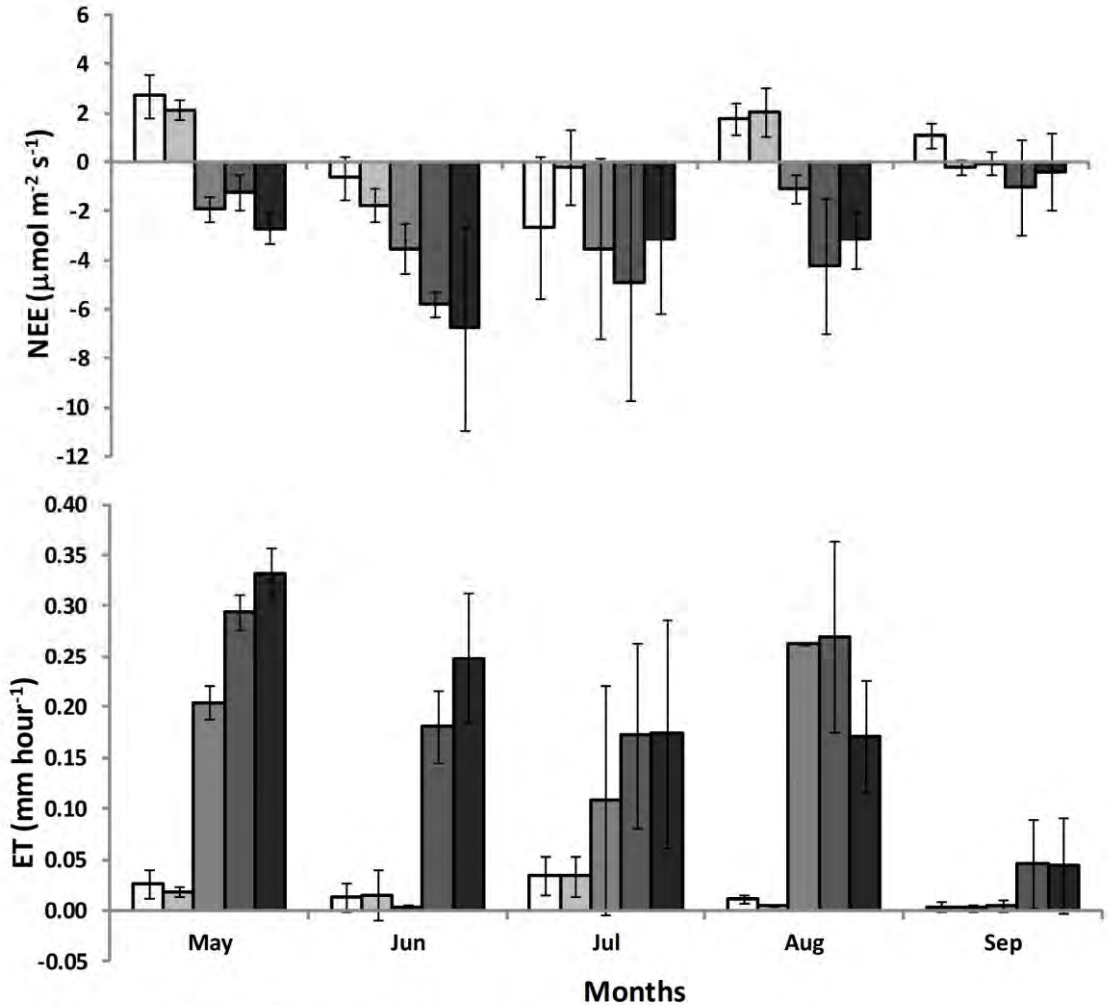


Методика экспериментальных исследований

- Измерение потоков CO_2 и H_2O (сезонная и суточная динамика, световые кривые, вклад различных компонентов растительных сообществ в суммарный поток) методом экспозиционных камер вдоль трансекты от края к центру болота,
- Измерение фитомассы растительного покрова,



Сезонная изменчивость CO₂ и H₂O обмена



□ 1 - *Betula pubescens* - *Menyanthes trifoliata* - *Sphagnum riparium*

□ 2 - *Betula pubescens* - *Carex lasiocarpa* + *Carex rostrata* - *Sphagnum fallax*

■ 3 - *Rhynchospora alba* - *Carex rostrata* - *Sphagnum magellanicum* + *S. angustifolium* (with *Scheuchzeria palustris*)

■ 4 - *Rhynchospora alba* - *Carex rostrata* - *Sphagnum magellanicum* + *S. angustifolium* (with *Oxycoccus palustris* and *Scheuchzeria palustris*)

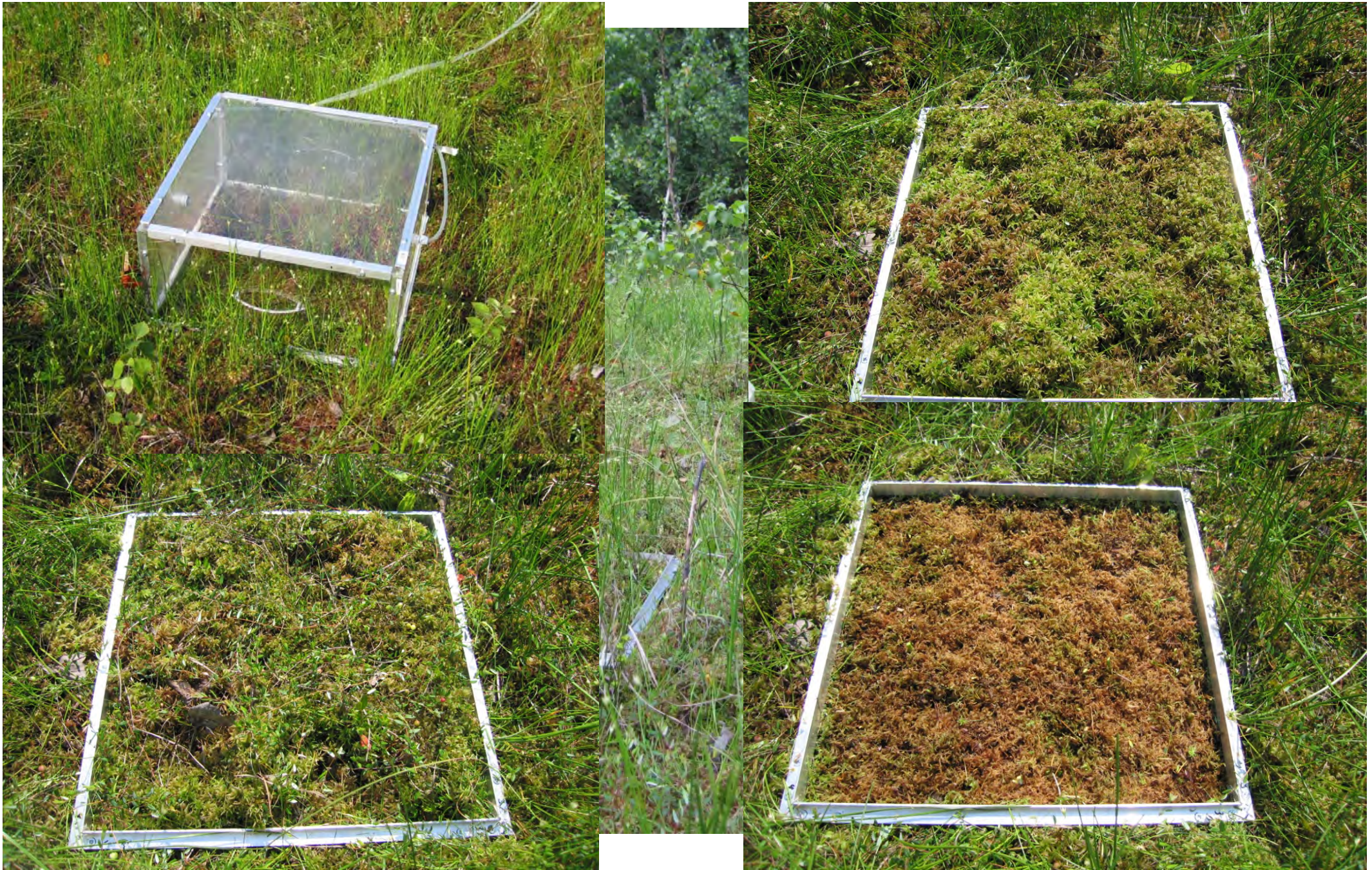
■ 5 - *Rhynchospora alba* - *Carex rostrata* - *Sphagnum magellanicum* + *S. angustifolium* (with *Drosera rotundifolia*, *Oxycoccus palustris* and *Scheuchzeria palustris*)

Определение вклада в CO_2 и H_2O -обмен разных компонентов растительных сообществ

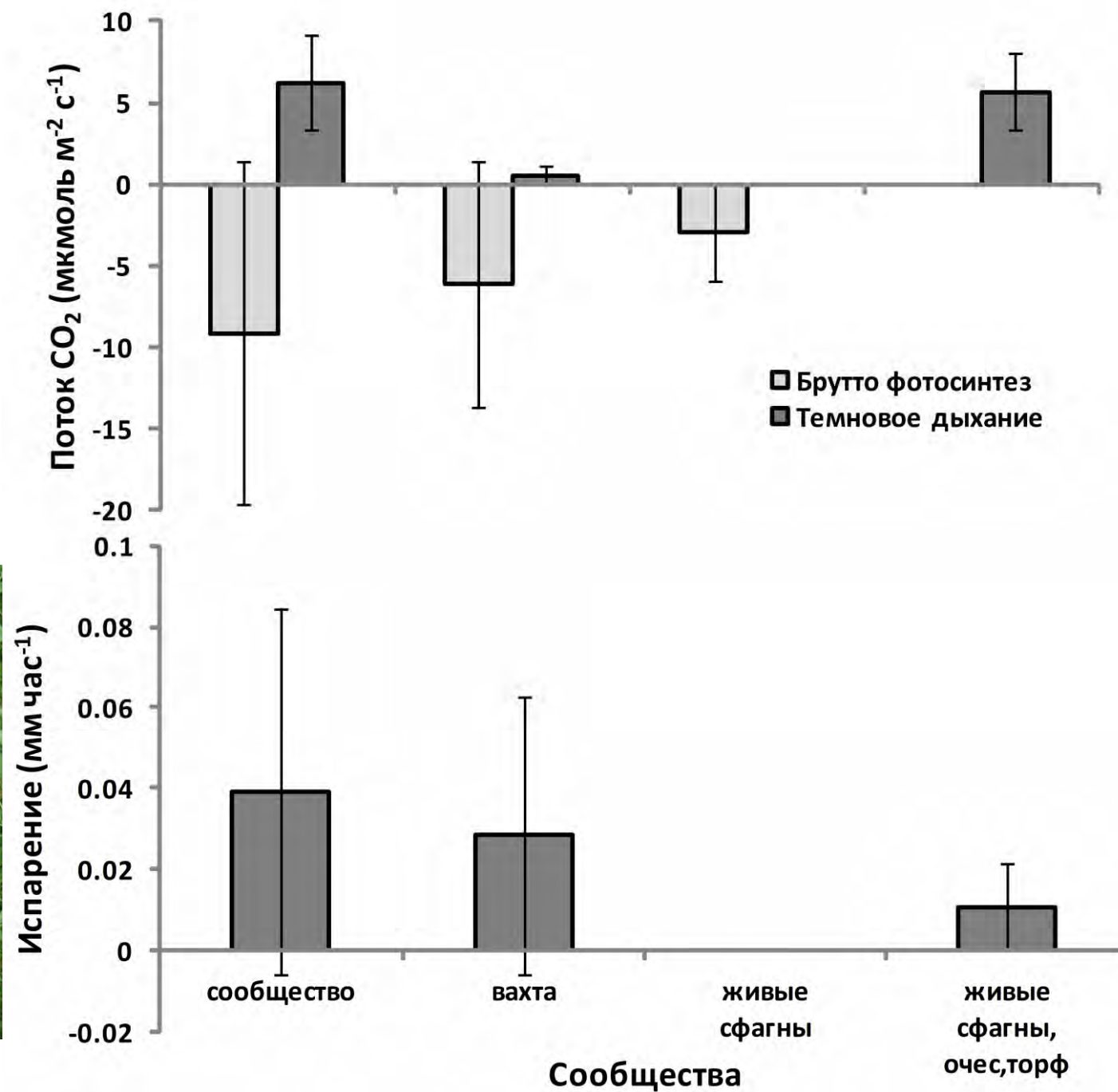
Метод – Измерение потоков при последовательном удалении ярусов/компонентов РП



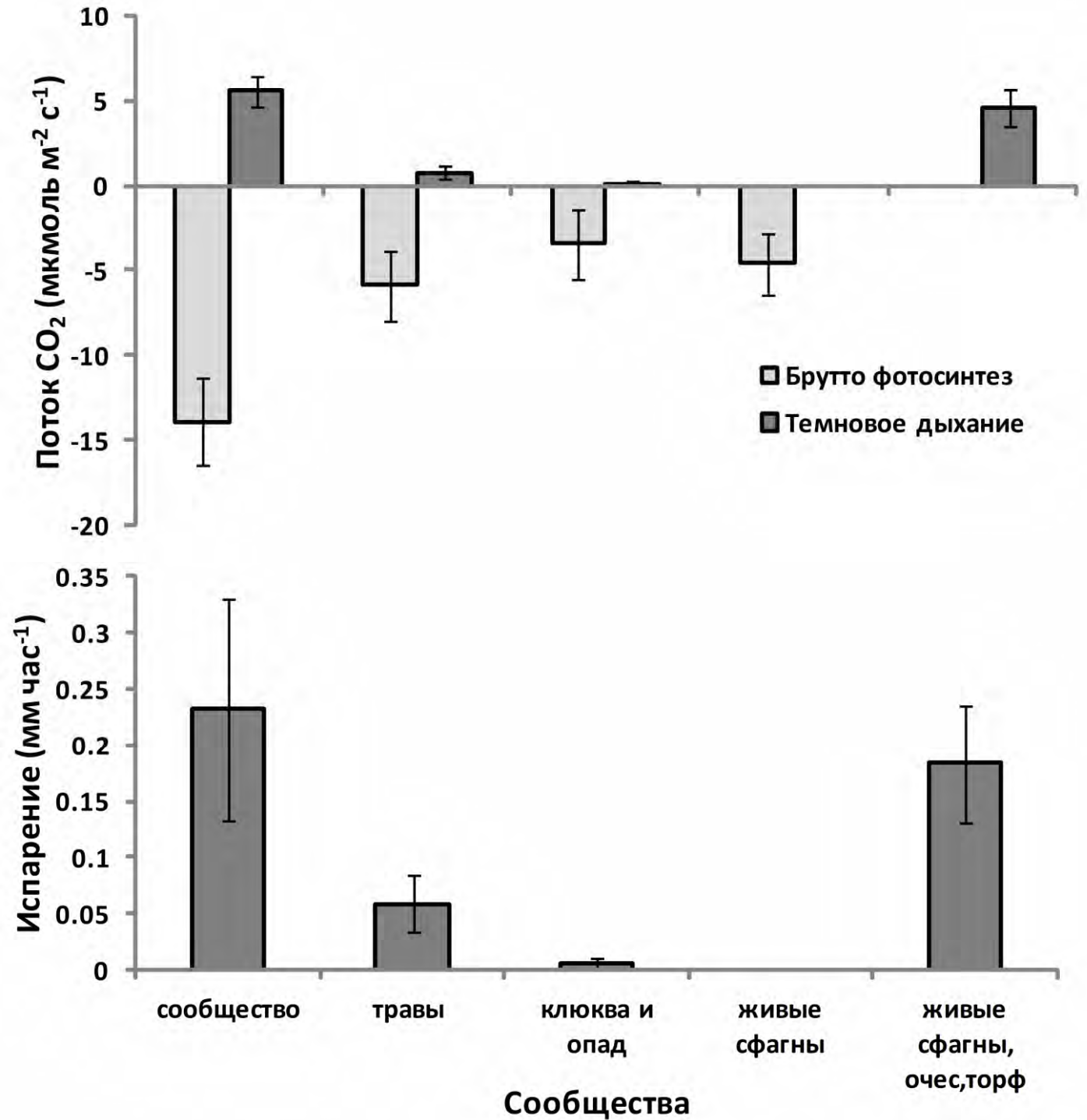
Определение вклада в CO_2 и H_2O -обмен разных компонентов растительных сообществ



Березово-вахтово-сфагновое сообщество

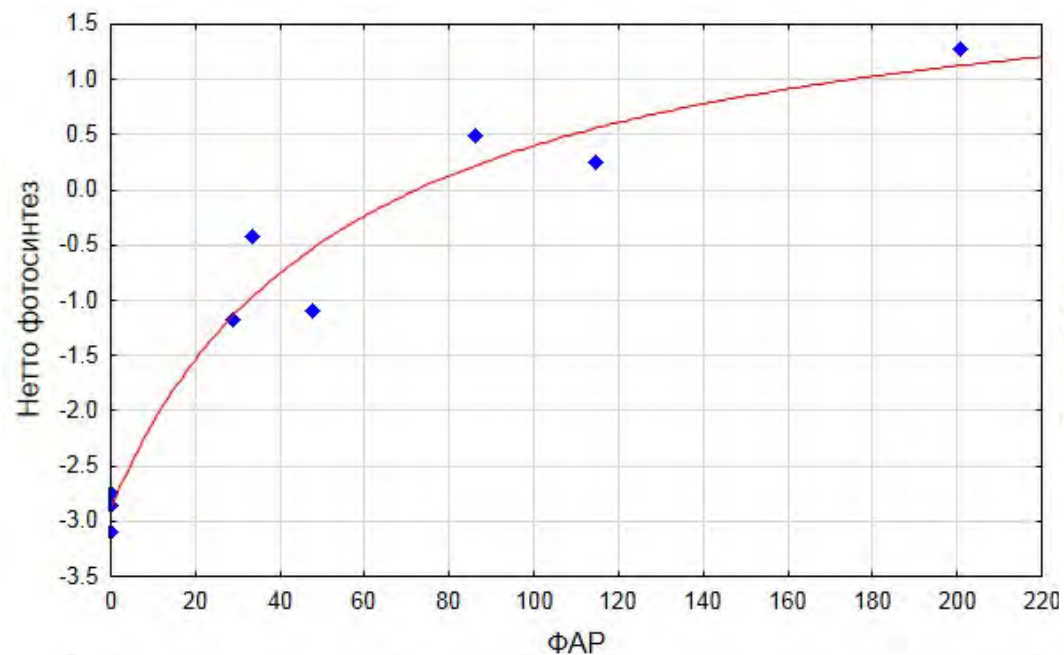


Очеретниково-осоково-сфагновое сообщество

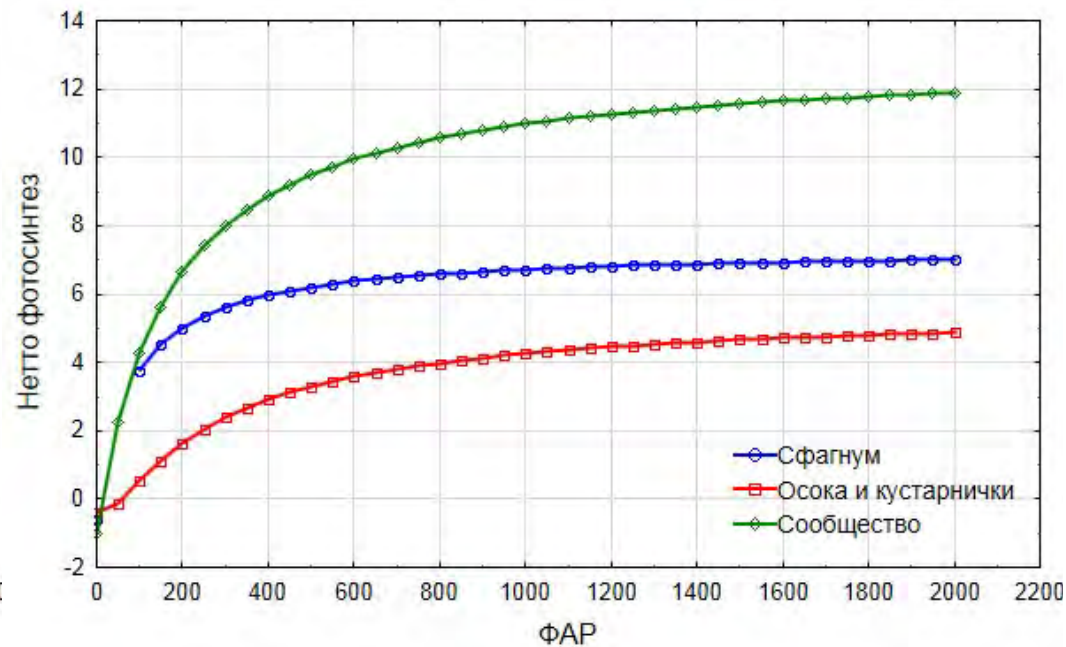
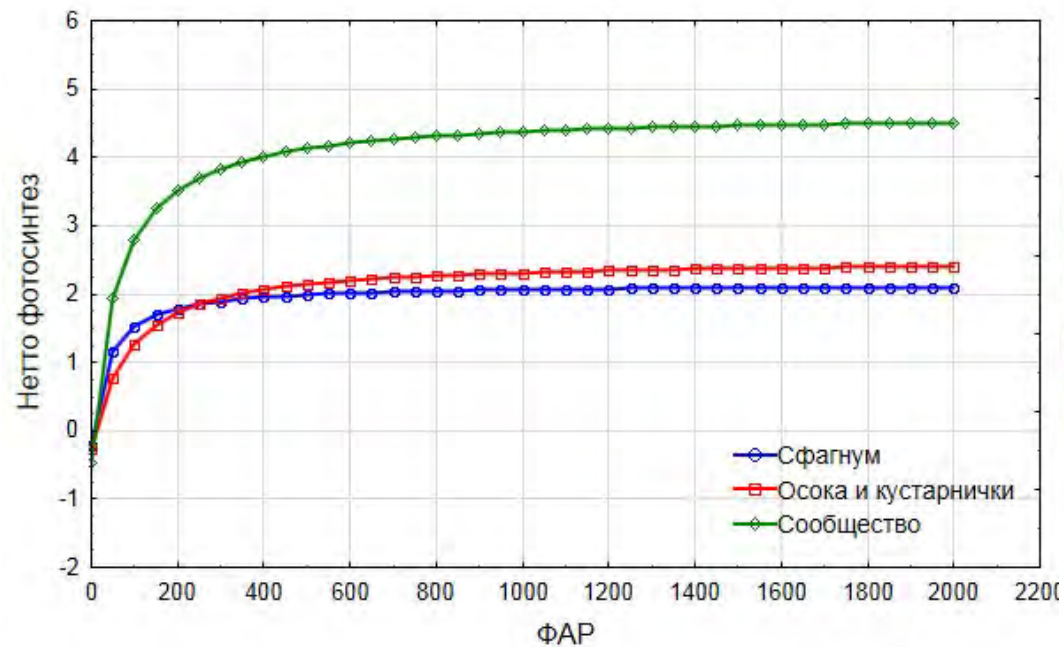
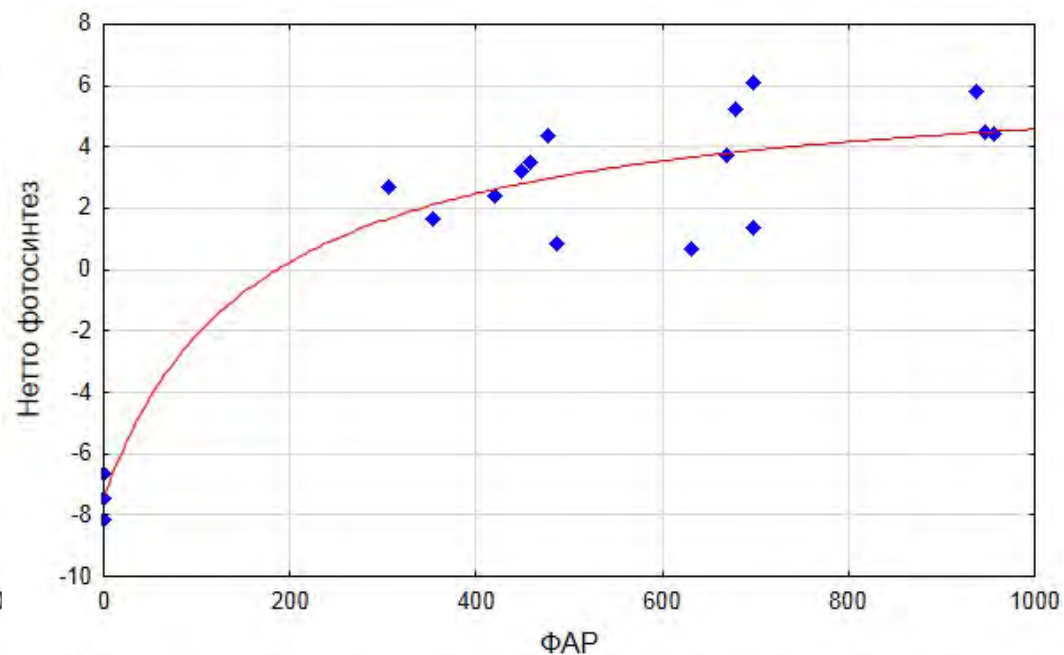


Световые кривые фотосинтеза

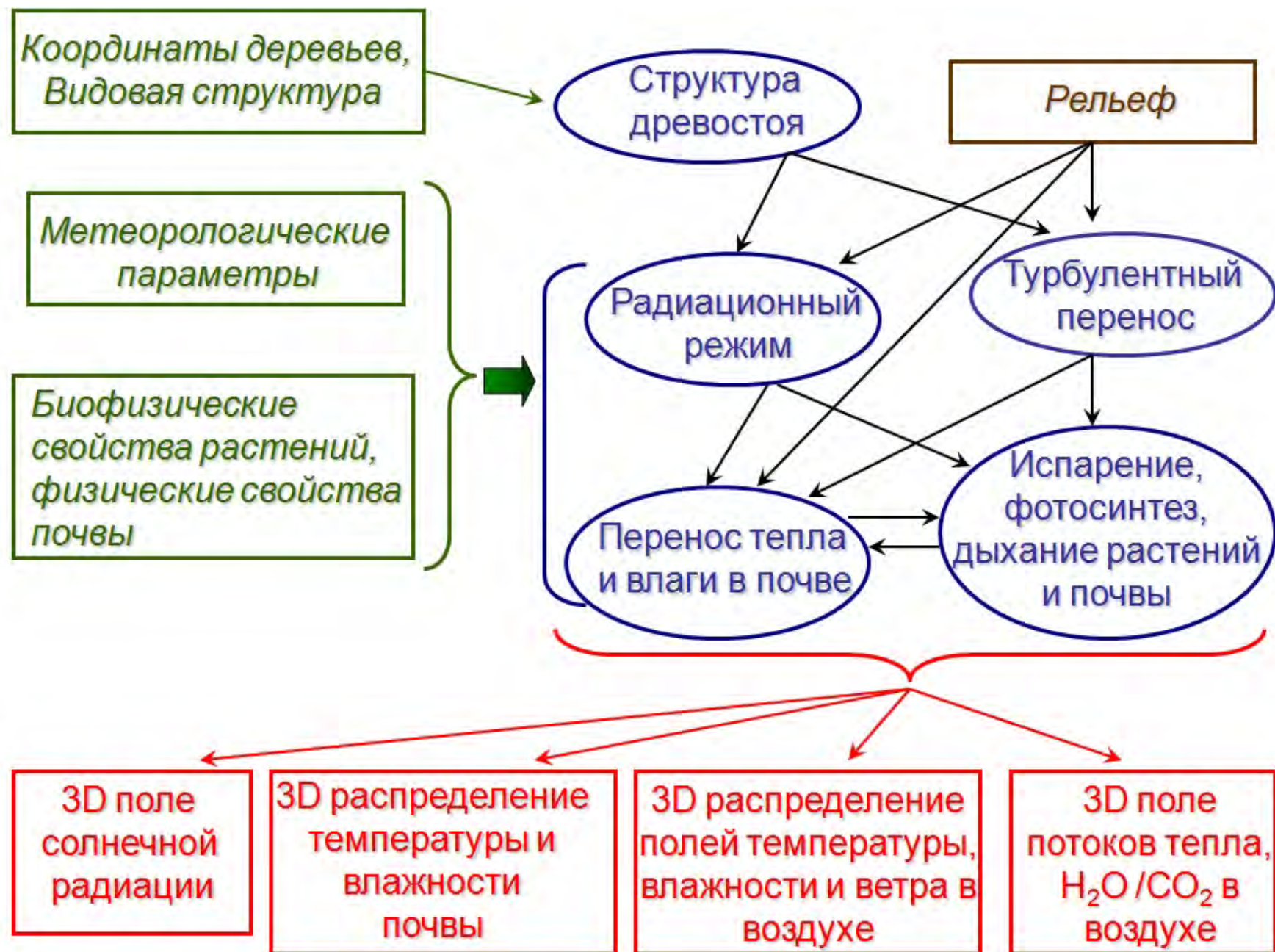
Березово-вахтово-сфагновое



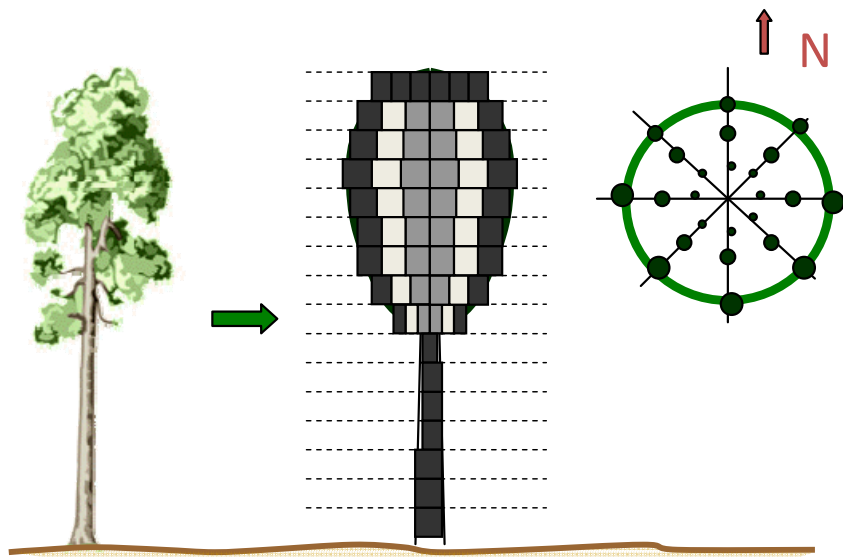
Очеретниково-осоково-сфагновое



Применение трехмерной модели Mixfor-3D для описания радиационного режима, потоков тепла, водяного пара и CO_2 между поверхностью болота и приземным слоем



Структура древесной растительности в Mixfo-3D модели

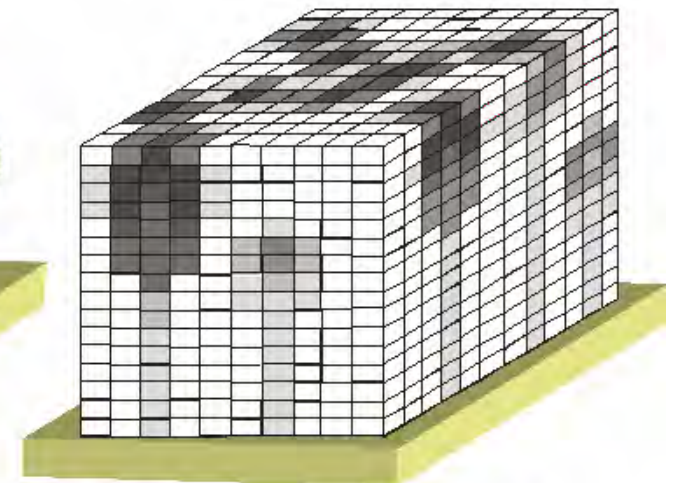


Длина кроны

$$h_{crown} = h \cdot \left(1 - \exp(\alpha_1 - \alpha_2 \cdot h / DBH - \alpha_3 \cdot DBH) \right)$$

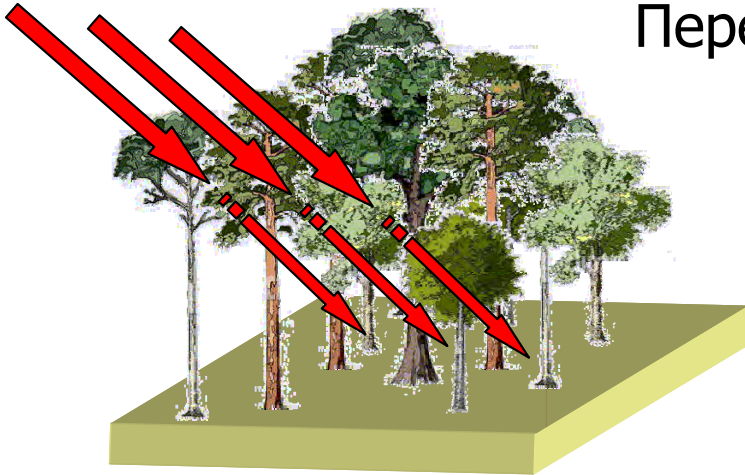
Вертикальное распределение LAD

$$LAD = \frac{\pi}{2 \cdot h_{crown}} \cdot \left(\sin\left(\pi \cdot z_{crown} / h_{crown}\right) - \frac{1}{2} \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot z_{crown} / h_{crown}\right) \right)$$



 - элементарная ячейка

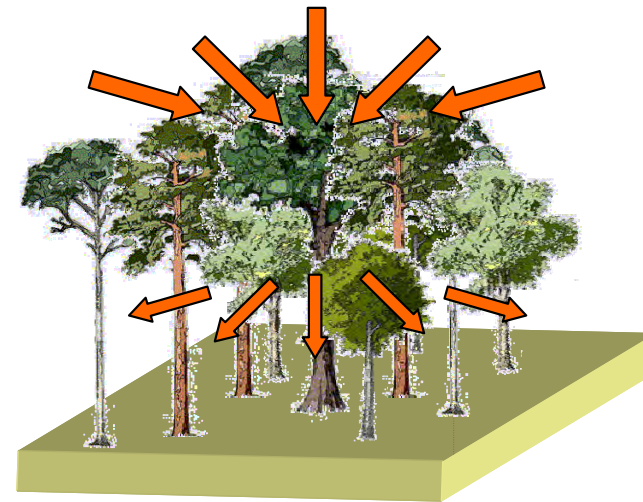
Перенос радиации в растительном покрове



Перенос прямой радиации

$$P_0(\mu) = \exp(-G(\mu_s) \cdot PAI / \cos(\mu_s))$$

$$P_0(\mu) = \exp(-G(\mu_s) \cdot L(\mu_s))$$



Перенос рассеянной радиации

$$P_D = 2 \cdot \int_0^{\pi/2} P_0 \cdot \cos(\mu) \cdot \sin(\mu) \cdot d\mu$$

Описание турбулентного режима:

усредненные уравнения гидродинамики

Водный баланс поверхности почвы с растительностью:

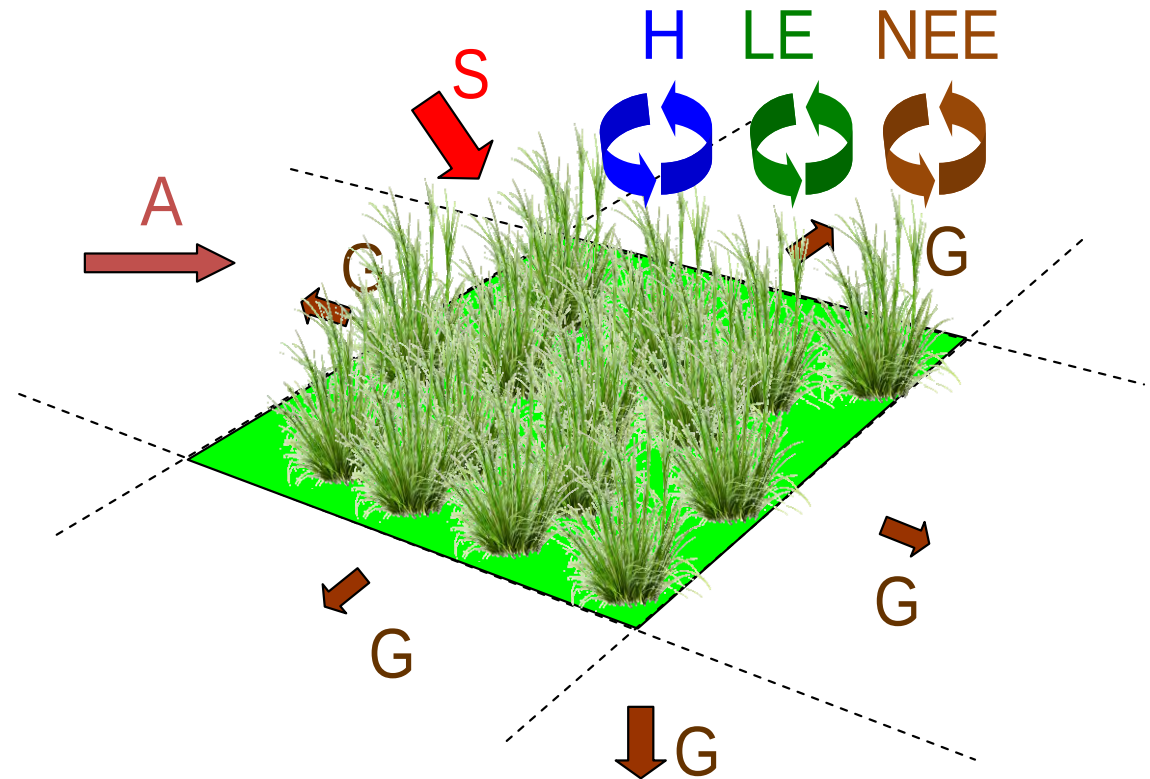
$$\frac{\partial W_{\text{почва}}}{\partial t} = \frac{P - (E_t + E_i + E_{\text{почва}}) - Q}{\Theta_{\text{почва max}} \cdot \rho_W}$$

E_t, E_i – транспирация и испарение задержанных растительностью осадков

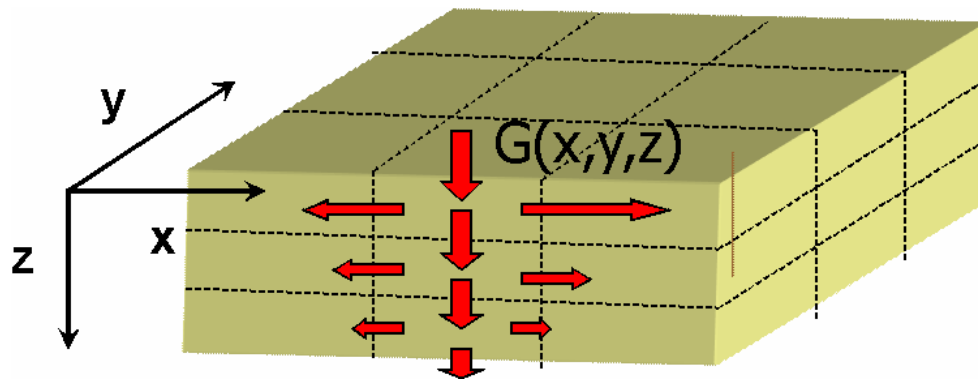
Q – внутренний и поверхностный сток

Потоки тепла на поверхности и в почве в Mixfor-3D модели

Тепловой баланс поверхности почвы с растительностью:



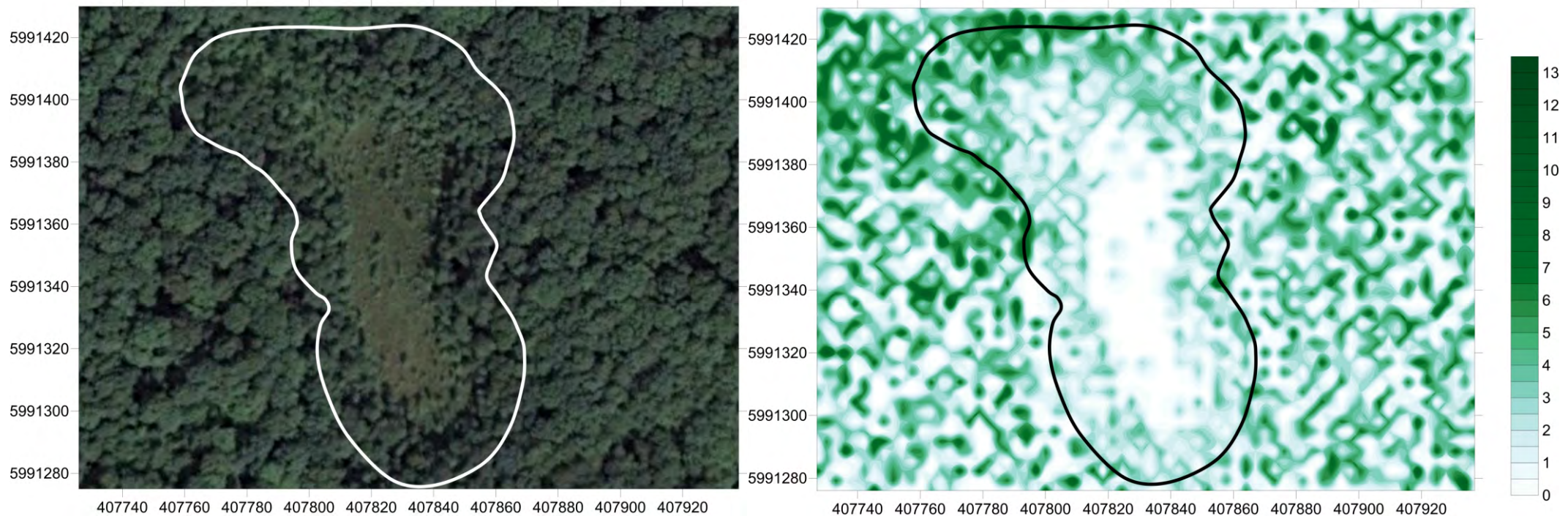
Поток тепла в почву:



$T(x,y,z)$
 $T(x,y,z+1)$
 $T(x,y,z+2)$

$$G(z) = -k_z \cdot \frac{\partial T_s}{\partial z}$$

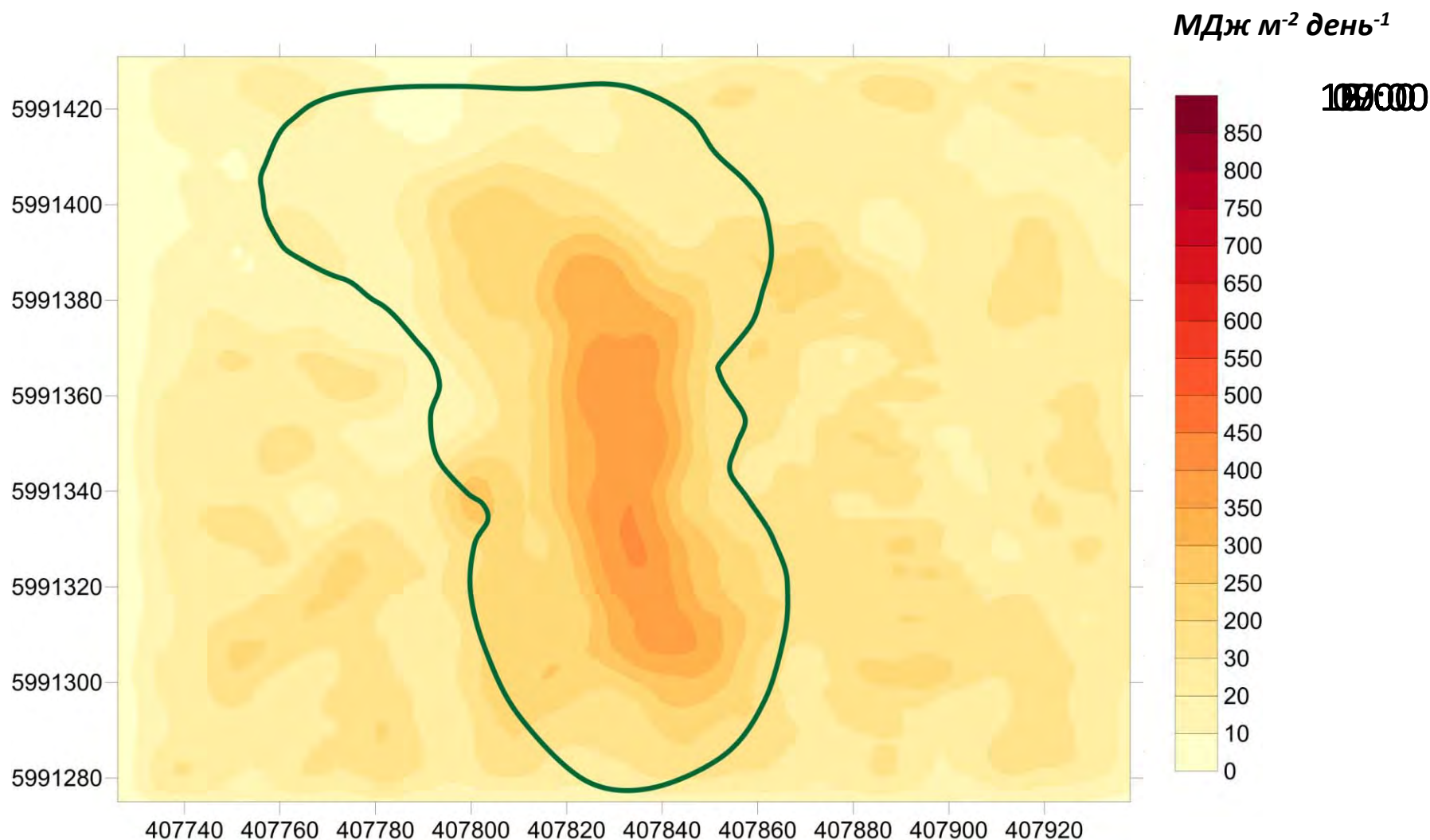
Смоделированное Mixfor-3D пространственное распределение листового индекса древесного яруса растительности



Спутниковый снимок исследуемого болота. Белая линия отмечает условную границы болота. Координаты указаны в системе UTM (37N).

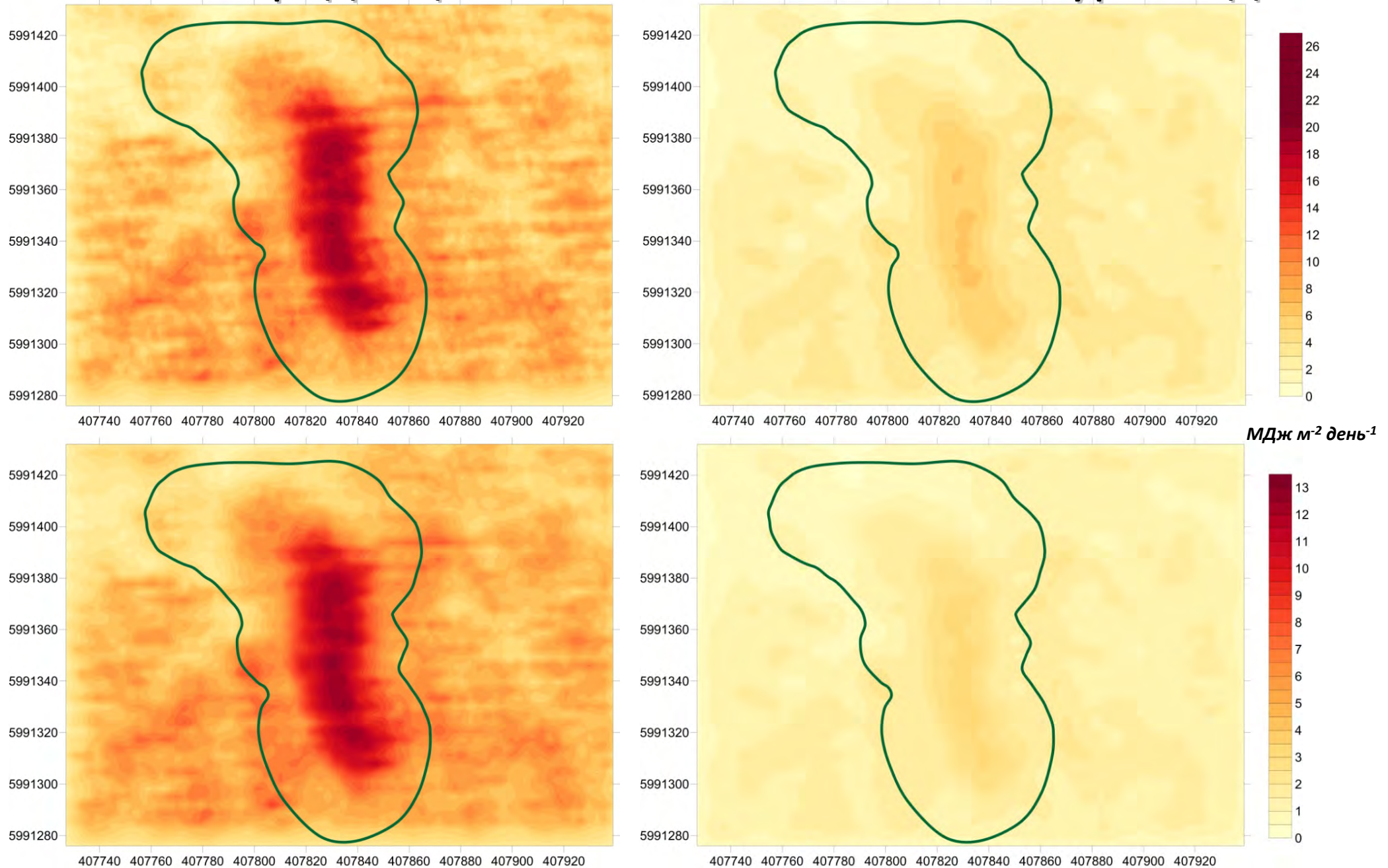
Пространственное распределение LAI древесного яруса растительности ($\text{м}^2 \text{м}^{-2}$).

Пример модельного расчета дневной динамики приходящей суммарной солнечной радиации на верхнюю границу травянистого яруса болота

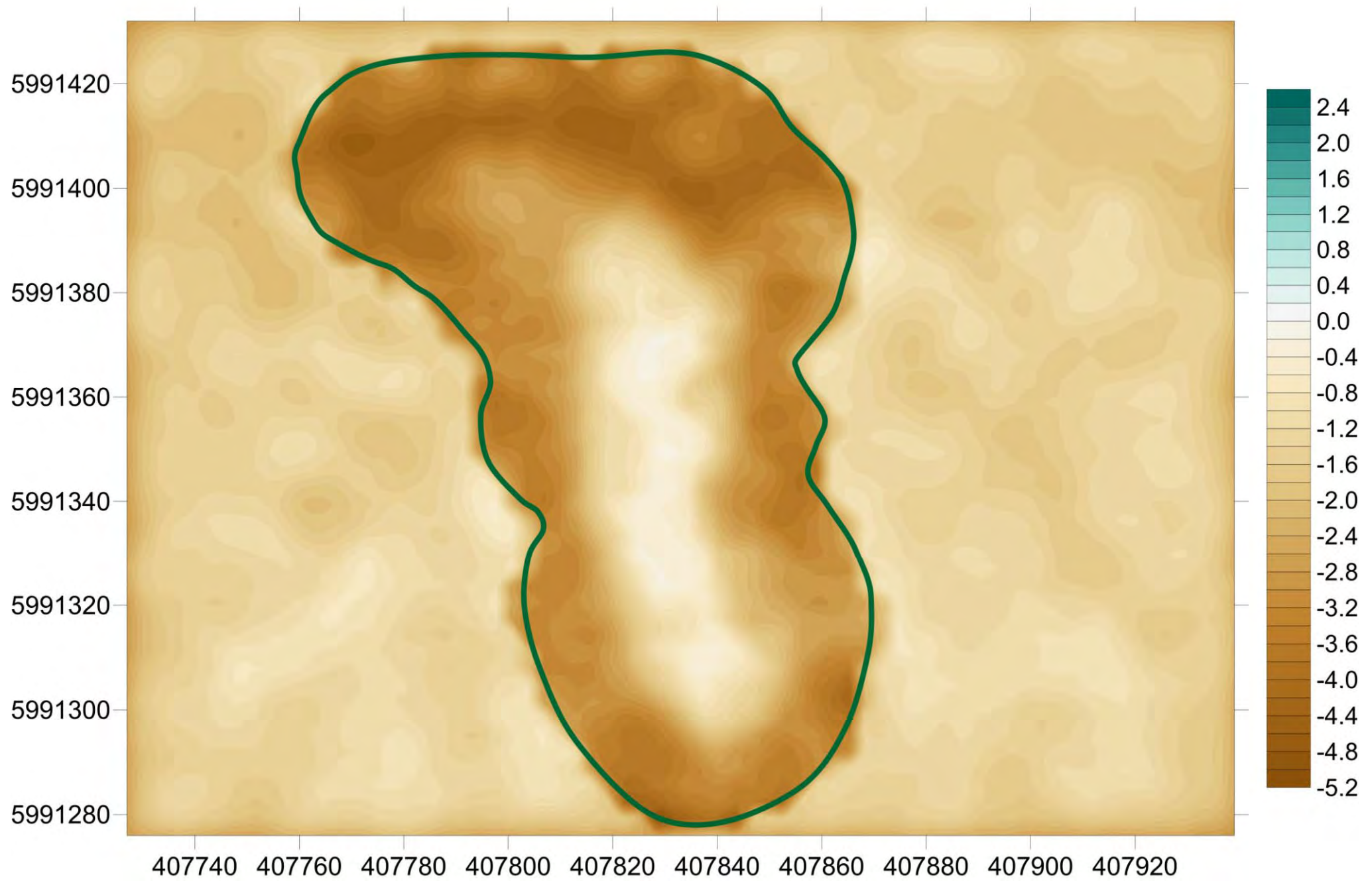


Зеленая линия обозначает условную границу болота

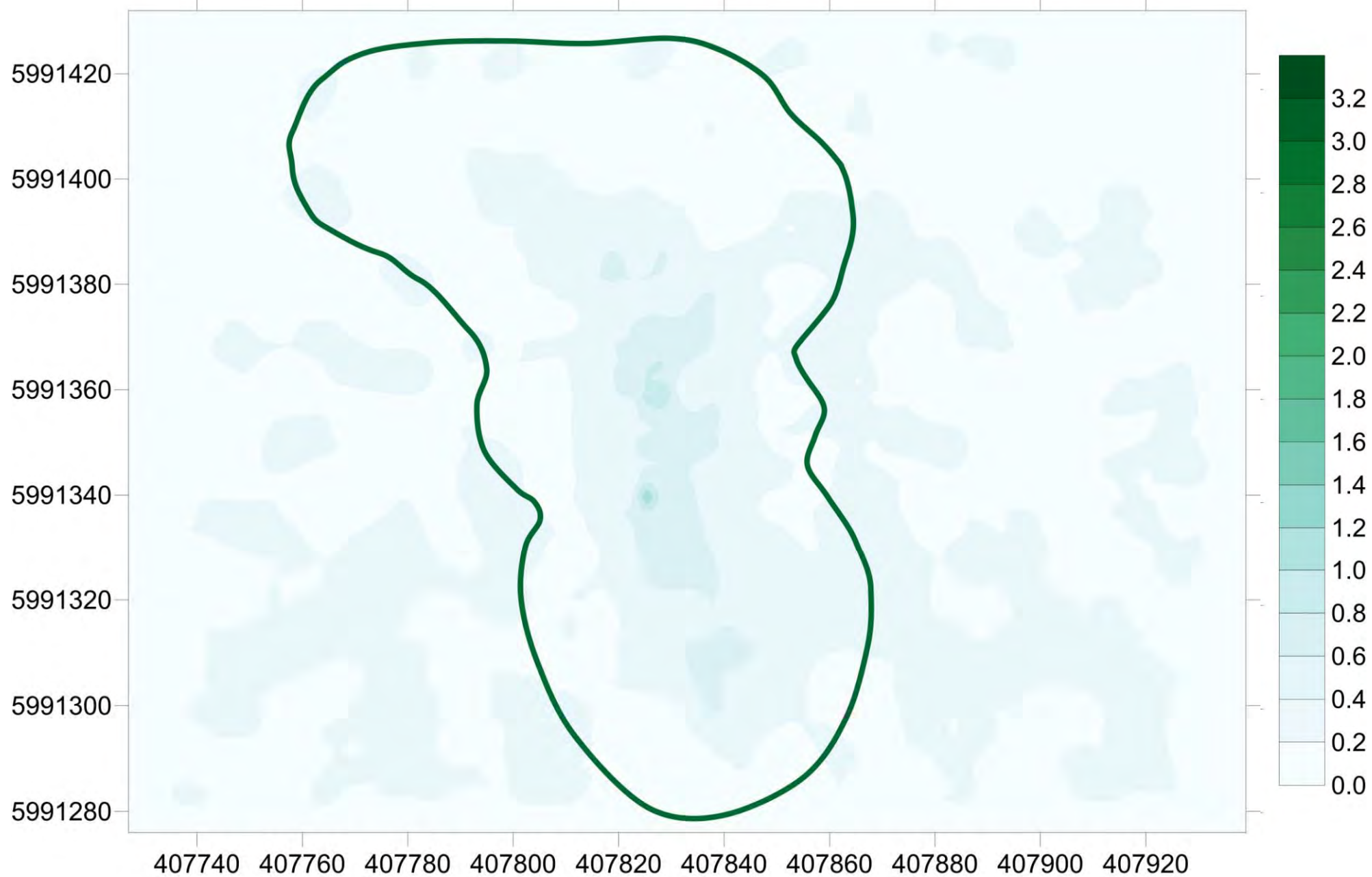
Примеры расчета суммарной и фотосинтетически-активной радиации в малооблачный и пасмурный день



Модельные расчеты НЕЕ травянистого яруса растительности и почвы



Модельные расчеты испарения травянистого яруса растительности и почвы



Основные результаты

1. Результаты экспериментальных наблюдений и модельных расчетов показали, что исследуемое мезоолиготрофное болото характеризуется высокой пространственно-временной изменчивостью нетто CO_2 обмена (NEE) и испарения (ET) определяемой, главным образом, приходящей ФАР и уровнем болотных вод. Центральная часть болота является ярко выраженным стоком CO_2 , а периферийная – источником CO_2 для атмосферы.
2. Трехмерная модель позволяет адекватно описать пространственную неоднородность и временную изменчивость NEE и ET.
3. В годовом ходе максимальные значения NEE наблюдаются в июне - июле. Максимальные значения испарения были получены в мае в периоды с высокой температурой воздуха и уровнем болотных вод.
4. Максимальный вклад в фотосинтез растительных сообществ (при расчете на грамм сухого вещества) в центральной и окраинной части болота привносит травянистый ярус -3.9 ± 4.8 мгС на г сух. вещ. в час и 3.9 ± 1.3 мгС на г сух. вещ. в час, соответственно. Брутто фотосинтез сфагнового покрова относительно небольшой и составляет -1.1 ± 1.1 мгС на г сух. вещ. в час на окраине и -0.6 ± 0.2 мгС на г сух. вещ. в час в центре болота.
5. На окраине болота главенствующая роль в формировании суммарного испарения принадлежит травяному ярусу (вахта), а в центральной части болота - сфагновому покрову и торфу.

Исследования проводятся при поддержке грантов РФФИ 11-04-01622-а, правительства РФ (11.G34.31.0079) и программы фундаментальных исследований президиума РАН "Живая природа: современное состояние и проблемы развития".

Известия Тульского государственного университета
Естественные науки. 2012. Вып. 3. С. 207–220

Биология

УДК 581.526.33 (470.312)

Нетто CO_2 -обмен и испарение сфагнового болота в зоне широколиственных лесов Европейской части России*

А. В. Олчев, Е. М. Волкова, Т. А. Каратаева, Е. Ю. Новенко

Аннотация. Для определения роли болот зоны широколиственных лесов в круговороте CO_2 и H_2O были проведены комплексные исследования CO_2 -обмена и испарения с поверхности сфагнового болота в Тульской области. По результатам измерений с помощью экспозиционных камер были получены данные о сезонной и суточной изменчивости потоков с учетом пространственной неоднородности болота, а также о влиянии различных растительных сообществ на суммарные потоки.

Ключевые слова: сфагновое болото, метод экспозиционных камер, нетто CO_2 -обмен, фактическое испарение, широколиственно-лесная зона, Тульская область.

Введение

Климат оказывает значительное влияние на все процессы, протекающие в биосфере, и формируется как под влиянием внутренней изменчивости в климатической системе, так и под воздействием различных внешних факторов естественного и антропогенного характера [1]. Антропогенное влияние на климат, в основном, связано с выбросами парниковых газов и аэрозолей в атмосферу в процессе деятельности человека, с рубящей лесов и с изменением структуры землепользования. К естественным внешним факторам относятся различные астрономические и эндогенные факторы.

По данным межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, ИРСО) наблюдаемое устойчивое повышение глобальной температуры воздуха в последние 50 лет снижается, и первую очередь, с резким увеличением содержания антропогенного диоксида углерода [1]. Так, по данным Ле Кер [13, 14] за период с 2000 по 2008 год средняя

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 11-04-97538-р, центр_а, 11-04-01822-а, 11-05-00557-а, 11-05-00854-а), правительства РФ (11.G34.31.0079) и программы фундаментальных исследований президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития».

OPEN ACCESS
ISSN 1691-2689

Environmental Research Letters
doi:10.1088/1751-7592/5/3/035001

Growing season variability of net ecosystem CO_2 exchange and evapotranspiration of a sphagnum mire in the broad-leaved forest zone of European Russia

A Olchev^{1,4}, E Volkova², T Karataeva² and F Novenko³

¹ A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Leninsky Prospekt 33, 119071 Moscow, Russia
² Tula State University, Leninsky Prospekt 92, 300012 Tula, Russia
³ Institute of Geography of RAS, Stepanovskiy Pereulok 29, 119017 Moscow, Russia
⁴ Russian State Agrarian University—Moscow Timiryazevskaya Agricultural Academy, Timiryazevskaya Street 49, 127550 Moscow, Russia
E-mail: aolchev@gmail.com

Received 9 June 2013
Accepted for publication 3 September 2013
Published 26 September 2013
Online at stacks.iop.org/ERL/5/3/035001

Abstract
The spatial and temporal variability of net ecosystem exchange (NEE) of CO_2 and evapotranspiration (ET) of a karst-hole sphagnum peat mire situated at the boundary between broad-leaved and forest-steppe zones in the central part of European Russia in the Tula region was described using results from field measurements. NEE and ET were measured using a portable measuring system consisting of a transparent sealed chamber combined with an infrared $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ analyzer, LI-845A (LI-Cor, USA) along a transect from the southern peripheral part of the mire to its center under sunny clear-sky weather conditions in the period from May to September of 2012 and in May 2013. The results of the field measurements showed significant spatial and temporal variability of NEE and ET that was mainly influenced by increasing solar radiation and ground water level. The seasonal patterns of NEE and ET within the mire were quite different. During the entire growing season the central part of the mire was a sink of CO_2 for the atmosphere. NEE reached maximal values in June–July (-6.8 ± 4.2 mmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The southern peripheral part of the mire, due to strong shading by the surrounding forest, was a sink of CO_2 for the atmosphere in June–July only. ET reached maximal values in the well-lit central parts of the mire in May (0.34 ± 0.20 mm h^{-1}) mainly because of high air and surface temperatures and the very wet upper peat horizon and sphagnum moss. Herbaceous species made the maximum contribution to the total gross primary production (GPP) in both the central and the peripheral parts of the mire. The contribution of sphagnum to the total GPP of these plant communities was relatively small and ranged on sunny days of July–August from -1.1 ± 1.1 mg $\text{C} \cdot \text{g}^{-1}$ of dry weight (DW) per hour in the peripheral zone of the mire to -0.6 ± 0.2 mg $\text{C} \cdot \text{g}^{-1}$ DW h^{-1} at the mire center. The sphagnum layer made the maximum contribution to total ET at the mire center (0.25 ± 0.10 mm h^{-1}) and the herbaceous species on the peripheral part of the mire (0.03 ± 0.03 mm h^{-1}).

Keywords: net CO_2 exchange, gross primary production, evapotranspiration, sphagnum mire, mire plant communities, sphagnum moss, chamber flux measurements

Author's personal copy

Ecological Modelling 220 (2009) 3046–3056
Contents lists available at ScienceDirect
Ecological Modelling
journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolmodel

Application of a three-dimensional model for assessing effects of small clear-cuttings on radiation and soil temperature

A. Olchev^{a,b,*}, K. Radler^b, A. Sogachev^{c,d}, O. Panferov^b, G. Gravenhorst^b

^a A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the RAS, Leninsky Pr. 33, Moscow, Russia
^b Department of Biotechnology, Biogen Institute, Georg-August University, Göttingen, Germany
^c Division of Atmospheric Science and Geophysics, Department of Physics, University of Colorado, Boulder, USA
^d Wind Energy Division, RWE National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark, Roskilde, Denmark

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 13 March 2009

Keywords:
Three-dimensional SVAT model
Forest ecosystem
Clear-cut
Solar radiation
Turbulent exchange
Soil temperature

ABSTRACT

A three-dimensional model Modis-3D of soil-vegetation-atmosphere transfer (SVAT) was developed and applied to estimate possible effects of tree clear-cuttings on radiation and soil temperature regimes of a forest ecosystem. The Modis-3D model consists of several closely coupled 3D sub-models describing: forest stand structure; radiative transfer in a forest canopy; turbulent transfer of sensible heat, H_2O and CO_2 between ground surface and the atmospheric surface layer; evapotranspiration of ground surface vegetation and soil; heat and moisture transfer in soil. The model operates with the horizontal grid resolution, 2 m × 2 m; vertical resolution, 1 m and primary time step, 1 s. The model was tested against meteorological data obtained at a small clear-cutting area in Ostrobothnia in central Germany during summer 2005. The meteorological data including air temperature and humidity, precipitation, solar radiation, wind speed and direction, soil temperatures at 10 and 20 cm depth were measured by five automatic stations within the clear-cut area. One reference station was placed about 100 m from the clear-cut inside the forest stand.

Comparisons of modelled and measured solar radiation fluxes and soil temperature profiles showed that the model adequately describes the spatial heterogeneity and dynamics of these variables under different weather conditions. The model can be used to explore solar radiation and soil temperature patterns within heterogeneous forest plots, with applications to various silvicultural tasks.
© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Regeneration of forests and increase of their productivity are currently important features of the sustainable forest management in central Europe. Monospecific spruce forests are often being converted into mixed (e.g., spruce–broadleaf) stands, in order to increase the ecological stability of forest stands and to make them more stable against storms, snow and ice damage, and infestations of fungi and bark beetles. For tree felling, various silviculture methods, including selective cutting and clear-cuttings, are being used (Spicer, 2004). Developing an optimal strategy for any forest conversion demands complex experimental and modelling studies, which would quantify the impacts of various harvesting strategies on microclimate, on thermal and moisture regimes of soils, and finally on success of forest regeneration (McCaughy, 1985).

Numerical modelling can be a very effective tool for solution of such tasks. Models developed for these purposes must be based on physical and biological principles and should be sophisticated enough to describe adequately the exchange processes in forest ecosystems. Moreover, they should be able to use tractable set of initial parameters such as standard meteorological data, standard soil and forest inventory information. During the last decades many soil-vegetation-atmosphere-transfer (SVAT) models have been developed and applied for different micrometeorological, ecological and silvicultural tasks (e.g., Sirois, 1996; Sellers et al., 1997; Pitman and Henderson-Sellers, 1998; Fritze et al., 2000). Most of these SVAT models are based on a one-dimensional (1D) representation of atmospheric processes, plant canopy and soil structures. This allows using straightforward calculation procedures and a small number of input parameters. However, since these models assume a horizontal homogeneity of the plant canopy, they cannot adequately represent the most processes in non-uniform forest stands, especially at forest edges, gaps and clearings (e.g., Sogachev et al., 2005; Gravenhorst et al., 2005; Klassen and Sogachev, 2006; Radler and Sogachev, 2006). Attempts to overcome this shortcoming have led naturally to three-dimensional (3D) modelling with 3D canopy representation

* Corresponding author at A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Leninsky Pr. 33, Moscow, 119071, Russia. Tel.: +7 495 246 1342.
E-mail address: aolchev@yandex.ru (A. Olchev).