



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (МинобрНауки России)
Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований
Российской Академии Наук (ФИЦ ПНЦБИ РАН)

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН
Институт математических проблем биологии РАН – филиал Федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Материалы Восьмой Национальной научной конференции
с международным участием

Математическое моделирование в ЭКОЛОГИИ

9–11 ноября 2023 года
г. Пушкино, Московская область

$$\text{Leslie} = \begin{bmatrix} b_1 & \dots & 0 & b_n \\ s_1 & 0 & 0 & \\ 0 & \dots & s_{n-1} & 0 \end{bmatrix}$$

$$GPP = uAPAR \cdot \epsilon_{eff}$$

$$f(\varphi) = \left(\frac{\varphi - \varphi_{min}}{\varphi_{opt} - \varphi_{min}} \right)^{a(\varphi_{opt} - \varphi_{min})} * \left(\frac{\varphi_{max} - \varphi}{\varphi_{max} - \varphi_{opt}} \right)^{a(\varphi_{max} - \varphi_{opt})}$$

<http://ecomodelling.ru/conferences/emm2023>

УДК 57+51-7
ББК 28в6
М34



Ответственные редакторы
доктор физико-математических наук П.Я. Грабарник
профессор, доктор физико-математических наук Д.О. Логофет

Математическое моделирование в экологии / Материалы Восьмой Национальной
научной конференции с международным участием, 9–11 ноября 2023 г. –
Пущино, ФИЦ ПНЦБИ РАН, 2023. 122 с.

Материалы Восьмой Национальной научной конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии» (ЭкоМатМод-2023) представляют современный уровень российских научных разработок в этой области знаний и содержат широкий спектр подходов к моделированию, применяемых для решения экологических задач. В сборнике представлены материалы докладов, посвященных различным проблемам математического моделирования экологических систем на организменном, популяционном, биогеоценотическом, региональном и глобальном уровнях организации живого покрова. Приведены подробные примеры применения математических моделей в экологических исследованиях. В ряде работ предложены новые математические методы, применяемые для решения задач в экологии. Сборник предназначен для математиков, экологов, биологов различных специальностей, почвоведов, географов, занимающихся анализом и прогнозированием развития биологических систем разных уровней организации, а также для студентов, магистрантов, аспирантов и широкого круга читателей, интересующихся современным состоянием моделирования в экологии.

© ФИЦ ПНЦБИ РАН, 2023

Уважаемые коллеги!

9–11 ноября 2023 г. в г. Пущино прошла Восьмая Национальная конференция с международным участием «Математическое моделирование в экологии» (ЭкоМатМод-2023), которая была организована Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленным подразделением ФИЦ ПНЦБИ РАН совместно с Институтом математических проблем биологии РАН - филиалом ФИЦ «Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН».

Тематика этой конференции, как и все предыдущие конференции ЭкоМатМод, затрагивает основные вопросы моделирования экосистем, решение которых основано на междисциплинарных взаимодействиях. Качественные изменения в области экологии и охраны окружающей среды во многом связаны с использованием экосистемного подхода к управлению природными ресурсами, направленного на устойчивое развитие и сохранение биоразнообразия экосистем. Применение математических методов и моделей как инструмента поддержки принятия решений в задачах охраны окружающей среды в настоящее время востребовано на разных уровнях управления биоресурсами.

Основными направлениями экологического моделирования в нашей стране традиционно являются моделирование циклов элементов в экосистемах, моделирование процессов роста и развития, моделирование динамики популяций и сообществ, прогноз изменения биоразнообразия. Важными задачами остаются моделирование катастрофических воздействий на окружающую среду: моделирование инвазии видов и эпидемий, моделирование последствий техногенных загрязнений, лесных пожаров, всплеск численности насекомых, влияние наводнений и засух.

Программа ЭкоМатМод-2023 включала следующие направления:

- Моделирование процессов роста и развития живых организмов, динамики популяций и сообществ.
- Моделирование экологической сложности, статистическое и пространственное моделирование.
- Моделирование циклов элементов и потоков вещества в экосистемах, в том числе, на региональном и глобальном уровнях.
- Математические модели в почвоведении и ландшафтоведении. Математические модели как инструмент поддержки принятия решений в задачах управления биологическими ресурсами, решения проблем изменения климата и рационального природопользования

В Оргкомитет ЭкоМатМод-2023 поступило более 50 материалов докладов из России и других стран. Окончательный состав Сборника материалов определен членами Программного комитета. По необходимости, в тексты материалов были внесены технические редакторские правки, которые не отражались на содержании научных текстов. Сборник дает возможность полно и всесторонне оценить современный состав и возможности нашего научного сообщества.

Оргкомитет Конференции выражает благодарность всем, откликнувшимся на инициативу по ее проведению. Мы считаем, что важным результатом ЭкоМатМод-2023 было хорошее представительство основных российских научных центров и активное участие молодежи. Материалы Конференции отражают высокий уровень этого научного направления в отечественной науке.

Сопредседатели Программного комитета
д.ф.-м.н. П.Я. Грабарник
проф., д.ф.-м.н. Д.О. Логофет

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абакумов А.И., Пак С.Я.</i> Исследование эффектов клеточно-структурных взаимодействий в фитопланктоне	8
<i>Адамова В.В.</i> Моделирование изменения распространения <i>Cochlodina laminata</i> (Mollusca, Gastropoda, Clausiliidae) в восточной Европе в условиях изменения климата	10
<i>Белотелов Н.В., Бровко А.В.</i> Некоторые особенности конкуренции структурированных популяций	14
<i>Быховец С.С., Фролов П.В., Шанин В.Н.</i> Пространственная неоднородность светового режима в смешанном древостое и ее воспроизведение новой системой моделей лесной экосистемы	17
<i>Войтеховский Ю.Л., Гунченкова А.</i> Расположение листьев на ветке – кристаллографический взгляд	20
<i>Гасанов М.Э., Петровская А.Ю., Никитин А.А.</i> Пространственный анализ чувствительности имитационной модели урожайности по отношению к почвенным свойствам	22
<i>Гибадуллин Р.Р., Мухартова Ю.В., Ольчев А.В., Керимов И.А.</i> Применение трёхмерной математической модели для оценки потоков CO ₂ и CH ₄ над неоднородной поверхностью	24
<i>Зеленчук П.А., Цибулин В.Г.</i> Сценарии идеального свободного распределения для модели хищник-жертва на неоднородном двумерном ареале	26
<i>Зубкова Е.В., Фролов П.В., Никонов А.В.</i> Новые возможности CAMPUS_standalone	28
<i>Иванова Н.В., Шашков М.П., Лебедев А.В., Криницын И.Г.</i> Кологривский лес до и после массового ветровала 2021 года: разведочный анализ по дистанционным данным	30
<i>Кивалов С.Н., Лопес де Геренью В.О., Хорошаев Д.А., Мякина Т., Сапронов Д., Иващенко К.В., Курганова И.Н.</i> Оптимизация эмпирических моделей для контроля и оценки зимнего дыхания почвы	33
<i>Ковалев А.В., Горошко А.А., Тарасова О.В., Суховольский В.Г., Цикалова П.Е.</i> Прогноз вспышки массового размножения сибирского шелкопряда по дистанционным данным	36
<i>Колобов А.Н., Фрисман Е.Я.</i> Разработка оптимальных схем лесопосадки при создании высокопродуктивных лесных плантаций	40
<i>Левашова Н.Т., Сергеев И.Д.</i> Использование метода Монте-Карло для моделирования распределения солнечной радиации в элементах растительности	42
<i>Леоненко В.Н., Харлуни А.А.</i> Учёт неопределённости в моделировании динамики популяций на примере численности больных эпидемическими ОРВИ в городах РФ	44

<i>Логофет Д.О.</i>	47
Последний раз о структурно-мультипликативном среднем неотрицательных матриц: точное решение задачи осреднения	
<i>Локшина Л.Я., Вавилин В.А.</i>	49
Динамическая модель внутриклеточного нитрит - зависимого анаэробного окисления метана бактерией <i>M. oxyfera</i> : решающая роль переноса электронов	
<i>Мазина С.Е., Федоров А.С., Кривошеева Е.А., Ледащева Т.Н.</i>	52
Подходы к моделированию зарастания ламповой флорой поверхностей субстратов в пещерах	
<i>Молчанов А.Г.</i>	55
Использование уравнения Монси и Саэки для расчета зависимости фотосинтеза от солнечной радиации у подростка под пологом леса и на открытом месте в разных условиях водообеспечения	
<i>Мухартова Ю.В., Ольчев А.В., Гибадуллин Р.Р., Согачев А.Ф., Керимов И.А.</i>	58
Обратная задача по оценке потоков парниковых газов над подстилающей поверхностью со сложным рельефом и неоднородной растительностью	
<i>Надпорожская М.А., Стадник Е.П., Якконен К.Л.</i>	60
Подготовка входных параметров для почвенного сценария в модели ROMUL	
<i>Низамутдинов Т.И., Надпорожская М.А., Быховец С.С., Абакумов Е.В.</i>	62
Баланс органического вещества в пахотных почвах Ямала: вычислительные эксперименты с моделью ROMUL	
<i>Остроумов В.Е., Волокитин М.П., Шабает В.П., Быховец С.С.</i>	64
Модель для калибровки неизвлекаемых датчиков потенциала почвенной влаги	
<i>Парфенова Е.И., Чебакова Н.М.</i>	66
Моделирование ареалов основных лесообразующих хвойных пород Сибири с помощью программы MaxEnt	
<i>Петросян В.Г., Осипов Ф., Варшавский А., Дергунова Н., Хляп Л.</i>	68
Ансамблевые модели пространственного распространения инвазионных околоводных млекопитающих России	
<i>Портнов А.М., Шубин А.С., Фролова Г.Г.</i>	70
Детекция деревьев в зимних зарастаниях с помощью нейросети YOLOv4	
<i>Припутина И.В., Фролов П.В., Шанин В.Н., Быховец С.С.</i>	73
Моделирование биогенного круговорота углерода в лесных экосистемах с учетом пространственной структуры растительных сообществ и неоднородности почвенных условий	
<i>Пузаченко М.Ю., Байбар А.С.</i>	76
Расчёт параметров порядка и динамических параметров для различных состояний растительности на основе серии МДДЗ.	
<i>Романов М.С., Мастеров В.Б.</i>	79
Новый метод щадящего изучения реакции птиц на беспокойство	
<i>Рузин И.М., Рожнова Г.</i>	81
Модели иммунного ускользания вирусов, эволюционные последствия вакцинации против SARS-CoV-2 и выводы на будущее для стратегий вакцинации	
<i>Сабреков А.Ф., Литти Ю.В., Глаголев М.В., Терентьева И.Е.</i>	84
Расчётная оценка интенсивности анаэробного окисления метана в инкубационных	

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПО ОЦЕНКЕ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НАД ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ И НЕОДНОРОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

Мухартова Ю.В.¹, Ольчев А.В.², Гибадуллин Р.Р.³, Согачев А.Ф.⁴, Керимов И.А.⁵

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
muhartova@yandex.ru

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
aoltche@yandex.ru

³МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
ravil00121@mail.ru

⁴ИППЭ РАН, Москва, Россия
andreysogachev@gmail.com

⁵ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия
ibragim_kerimov@mail.ru

Аннотация: Работа посвящена постановке, исследованию и реализации обратной задачи по оценке потоков парниковых газов между атмосферой и подстилающей поверхностью при известных (например, измеренных с помощью БПЛА) значениях концентрации на двух уровнях над поверхностью. Поток находится из условия минимума квадрата нормы разности измеренных и модельных значений. Методика применена для оценки потоков CO₂ на экспериментальной площадке Рошни-Чу (Чеченская республика).

В настоящее время в связи с растущей антропогенной нагрузкой на атмосферу задача исследования и оценки потоков парниковых газов (ПГ) между подстилающей поверхностью и атмосферой является весьма актуальной (Pörtner et al. 2022). Основными методами экспериментального исследования потоков ПГ являются метод экспозиционных камер и метод турбулентных пульсаций (Aubinet et al., 2012; Pumpanen et al., 2004). Однако для корректной работы метода турбулентных пульсаций необходима горизонтальная однородность подстилающей поверхности, малость дивергенции и конвергенции потока, а также флуктуаций плотности воздуха. Применение метода экспозиционных камер также затруднительно на местности с сильно расчленённым рельефом. Особую сложность представляет измерение потоков традиционными методами в горных регионах, как в связи со значительной неоднородностью поверхности, так и из-за их труднодоступности. В связи с этим исследованиям потоков парниковых газов в горных регионах, в частности, на Кавказе, уделяется мало внимания. Весьма актуальной является разработка новой рабочей методики оценки потоков ПГ, применимой в том числе над поверхностью со сложным рельефом и неоднородной растительностью. Значительную роль при этом могут играть дистанционные методы и математическое моделирование.

Предлагаемая в данной работе методика оценки потоков ПГ основана на использовании данных измерений полей концентрации ПГ на двух уровнях над поверхностью, а также трехмерной гидродинамической модели (Mukhartova et al., 2023), позволяющей вычислять установившееся распределение концентрации ПГ над поверхностью при заданном потоке с поверхности. При этом искомый поток оценивается в результате решения обратной задачи, заключающейся в минимизации квадрата нормы разности измеренной и смоделированной концентрации на нескольких уровнях.

Для тестирования разработанного алгоритма была выбрана экспериментальная площадка участка карбонового полигона в Рошни-Чу в Чеченской республике, расположенного в предгорных районах Большого Кавказского хребта (43°03'47.0"N, 45°23'13.3"E). Площадь исследуемой территории около 243 га, перепад высот от 400 до 600 метров, рельеф сильно расчленённый.

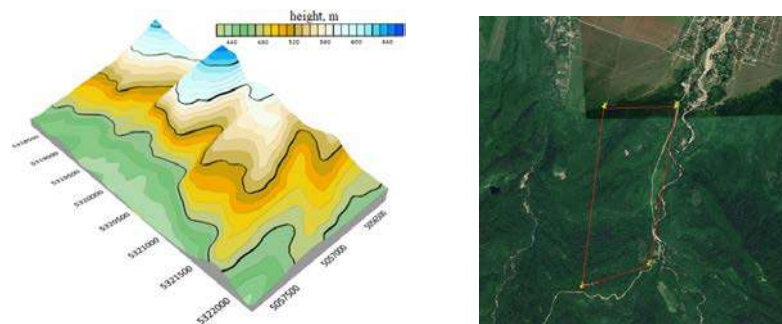


Рисунок 1 – Рельеф экспериментального участка Рошни-Чу и его спутниковый снимок

В течение летнего периода 2022 года на выбранном участке проводились измерения почвенного дыхания и дыхания растительности. Эти данные, а также спутниковые данные о структуре и плотности растительности были использованы в прямой задаче вычисления потоков CO_2 . Рассчитанный поток на высоте 30 м над поверхностью был взят за “теоретический”. “Измеренные” на различных уровнях значения концентрации также моделировались на основе решения прямой задачи с внесенной в него погрешностью. На рисунке 2 представлены теоретический поток CO_2 и поток, полученный из обратной задачи.

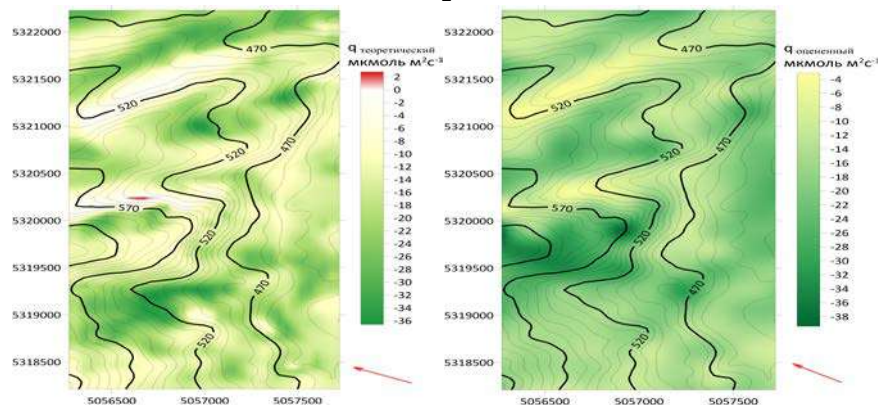


Рисунок 2 – Теоретический и полученный из обратной задачи потоки. Стрелкой указано направление ветра

Разработка модели выполнена при поддержке программы развития МГУ в рамках Междисциплинарной научно-образовательной школы «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды», проект № 23-Ш07-55 (Пространственно-временная изменчивость углеродного баланса наземных экосистем ЕТР по данным измерений и математического моделирования). Измерения и модельные расчеты выполнены в рамках Госзадания № FZNU-2021-0012 «Комплексная интерпретация геофизических и геоэкологических данных для изучения баланса парниковых газов».

ЛИТЕРАТУРА

- Pörtner H.O., Roberts D.C. Tignor M. et al. (Eds.) IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2022; 3056p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Aubinet M., Vesala T., Papale D. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2012. 438 p.
- Pumpanen J., Kolari P., Ilvesniemi H. et al. Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO_2 flux // Agric. For. Meteorol. 2004, V. 123, p. 159–176.
- Mukhartova I., Kurbatova J., Tarasov D. et al. Modeling Tool for Estimating Carbon Dioxide Fluxes over a Non-Uniform Boreal Peatland // Atmosphere. 2023, V.14, №4, p.625, DOI: 10.3390/atmos14040625.