

## МОДЕЛЬ WeMEM ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ БОЛОТ

Глаголев М.В.<sup>1,2,3,4</sup>, Ильясов Д.В.<sup>2</sup>, Сабреков А.Ф.<sup>3,4</sup>, Терентьева И.Е.

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
[m\\_glagolev@mail.ru](mailto:m_glagolev@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт лесоведения РАН, с. Успенское (Московская обл.), Россия

<sup>3</sup>Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>4</sup>Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

**Аннотация:** представлена доработанная версия модели WeMEM (основанной на моделях Cao et al. «MEM» и «WMEM»), предназначенная для оценки эмиссии метана из болот в региональном масштабе. Доработка заключается в снабжении исходной версии простой моделью почвенного климата, использующей имеющиеся в свободном доступе метеорологические данные: среднемесячные температуры, суммы осадков и глубины расположения «вечной» мерзлоты.

### 1. Введение

Метан – важный «парниковый» газ в климатической системе; кроме того, он также участвует в атмосферных фотохимических реакциях (Cao et al., 1995). Одним из главнейших источников метана, дающим 20-30% от общей эмиссии  $\text{CH}_4$  в атмосферу, являются болота (Cao et al., 1996). Этот источник особенно важен для России, поскольку, во-первых, торфяные болота вместе с заболоченными мелкоотторфованными землями занимают около 21.6% территории РФ (Вомперский, 1994), и, во-вторых, по оценке (Matthews, Fung, 1987), именно торфяники, находящиеся в полосе от 50 до 70° с.ш., обеспечивают около 60% глобальной эмиссии из болот. Аккуратный количественный учет мощности болотного источника  $\text{CH}_4$  (и динамики этого источника в географическом пространстве) должен играть важную роль в предсказании тренда атмосферной концентрации метана и его влияния на климат (Cao et al., 1996). Понятно, что для таких больших территорий, как Россия (или хотя бы отдельные ее регионы) вышеуказанный количественный учет возможно сделать лишь на основе соответствующих математических моделей.

Одной из таких моделей, на наш взгляд, может быть «WeMEM» (Глаголев, 2010), первоначально основанная на моделях (Cao et al., 1995, 1996). Данная модель проверялась по экспериментальным данным об эмиссии, полученным при помощи автоматических камер, установленных на Бакчарском болоте (Томская обл.). Результаты оказались весьма удовлетворительными, однако при этом в значительной степени использовалась сайт-специфичная информация (в том числе и такая экзотическая, как доля окисляемого  $\text{CH}_4$  под конкретной растительной ассоциацией). Данное болото изучается уже более двух десятилетий силами нескольких научных групп из Новосибирска, Москвы и Томска, а также зарубежными исследователями. Понятно, что для этого объекта доступна практически любая информация, но если модель будет чувствительна к ее отсутствию, то она окажется непригодна в общем случае, поскольку для подавляющего большинства болот нет ничего иного кроме общепринятых метеорологических данных.

Таким образом, убедившись на первом этапе, что модель, в принципе работает (если ее обеспечить всей необходимой информацией), в дальнейшем мы поставили задачу так видоизменить ее, чтобы можно было ограничиться только теми входными данными, которые имеются для глобального (или хотя бы регионального масштаба) в открытом доступе.

### 2. Модель WeMEM

Первая версия модели WeMEM (включая текст на языке MATLAB) была детально описана в (Глаголев, 2010). В версии 2.0 была изменена форма учета влияния температуры и уровня болотных вод (WTL) на метаногенез. Новые формулы для этого приведены, соответственно, в (Глаголев, 2012, Глаголев и др., 2015). Версия 2.1, описанная в (Глаголев и

др., 2017), отличалась от предыдущей, во-первых, новой формой учета влияния WTL на интенсивность окисления  $\text{CH}_4$  и, во-вторых, тем, что в нее была введена простейшая модель гидрологии болота (для расчета WTL по информации о температуре и осадках). В настоящее время проводятся вычислительные эксперименты с WeMEM v. 2.2, отличающейся от предыдущей версии тем, что в нее инкорпорирована простейшая модель температуры почвы.

Для расчета пространственно-временного поля температур «среднегодового» года на поверхности задается периодический закон изменения температуры, параметры которого идентифицируются для каждой географической точки по динамике среднемесячных температур, полученных из БД WorldClim – слой “TMEAN” (Hijmans et al., 2003). «Глубина затухания» температурных волн в воде – 1.2 м (Воронин, 1986), при этом их амплитуда на глубине 2.3 м составит лишь около 0.1 амплитуды на поверхности. Очевидно, что с некоторой степенью приближения вполне можно принять на этой глубине граничное условие 1-го рода – условие постоянства температуры ( $T$ , °C). В соответствии с графической зависимостью из (Волобуев, 1953), при отсутствии вечной мерзлоты оно задавалось в виде

$$T(2.3\text{м}) = 0.96 \cdot T_a + 2.59, \quad (1)$$

где  $T_a$  – средняя годовая температура воздуха. При решении уравнения теплопроводности теплоемкость и коэффициент теплопроводности выше УБВ принимались равными этим параметрам в воздухе, а ниже – в воде.

Предсказания модели сравнивались с полевыми измерениями в рядах и открытой топи Бакчарского болота. С учетом того, что в качестве входных параметров модели использовалась только общедоступная метеорологическая информация, результаты моделирования летнего периода (по другим нет экспериментальных данных для сравнения) можно считать вполне приемлемыми: для «среднепогодного» года эмиссия в топи составила  $1 \div 5 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$  (в этот диапазон попадает около 50% наблюдений для реальных лет; 79% наблюдений оказывается в диапазоне  $1 \div 9 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ ), в рядах –  $0 \div 1 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$  (соответственно – 73% реальных наблюдений расположено в этом диапазоне).

## Литература

- Волобуев В.Р. Почвы и климат. Баку: Изд-во АН АзССР, 1953.
- Вомперский С.Э. Роль болот в круговороте углерода // Чтения памяти В.Н. Сукачева. XI: Биогеоценологические особенности болот и их рациональное использование. М.: Наука, 1994. С. 5-37.
- Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
- Глаголев М.В. Эмиссия  $\text{CH}_4$  болотными почвами Западной Сибири: от почвенного профиля до региона. Дис. ... канд. биол. наук. Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), 2010. 211 с.
- Глаголев М.В. Высокий уровень стояния воды может снижать эмиссию метана из почвы // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2012. Т. 3. № 1(5). С. 1-10.
- Глаголев М.В., Сабреков А.Ф., Терентьева И.Е., Максютков Ш.Ш. Температурный фактор продукции метана в модели WeMEM // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири. Материалы Третьей международной научно-практической конференции. 2015. С. 64-67.
- Cao M., Dent J.B., Heal O.W. Modeling methane emissions from rice paddies // Global Biogeochemical Cycles. 1995. V. 9. № 2. P. 183-195.
- Cao M., Marshall S., Gregson K. Global carbon exchange and methane emissions from natural wetlands: Application of a process-based model // Journal of Geophysical Research. 1996. V. 101. № D9. P. 14399-14414.
- Frolking S., Crill P. Climate controls on temporal variability of methane flux from a poor fen in southeastern New Hampshire: Measurement and modeling // Global Biogeochemical Cycles. 1994. V. 8. P. 385-397.
- Glagolev M.V., Il'yasov D.V., Churkina A.I., Sabrekov A.F., Terentieva I.E., Maksyutov S.S. 2017. Verification of WeMEM model using field data from West Siberian south taiga wetlands // Углеродный баланс болот Западной Сибири в контексте изменения климата: материалы междунар. конф. (Ханты-Мансийск, 19-29 июня 2017 г.). Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. С. 25-28.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // Int. J. of Climatology. 2005. V. 25. P. 1965-1978.
- Matthews E., Fung I. Methane emission from natural wetlands: global distribution, area, and environmental characteristics of sources // Global Biogeochemical Cycles. 1987. V. 1. P. 61-86.