

О СВЯЗИ СУТОЧНОЙ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА НАД БОЛОТОМ С КОЭФФИЦИЕНТОМ ДИФФУЗИИ

А.Ф. Сабреков

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

misternickel@mail.ru

Приведены данные об измерениях суточной динамики концентрации метана и коэффициента турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы над олиготрофным болотным массивом. Подробно описана весьма простая в техническом отношении методика получения этих данных. Обсуждается вопрос влияния плотности потока метана и коэффициента диффузии в атмосфере на суточную динамику концентрации. Делается вывод о том, что суточная динамика концентрации метана в приземном слое атмосферы, главным образом, определяется процессами циркуляции в приземном слое. Построено регрессионное соотношение, связывающее концентрацию метана в приземном слое с коэффициентом турбулентной диффузии.

Ключевые слова: суточная динамика концентрации метана в приземном слое атмосферы, коэффициент турбулентной диффузии, эмиссия метана из болот.

ВВЕДЕНИЕ

Метан играет значимую роль в фотохимических реакциях, протекающих в атмосфере (см., например, [Cicerone, Oremland, 1988]), и является важным парниковым газом в климатической системе – его относительный вклад в величину глобального потепления составляет около 20% [Etiope et al., 2008]. По этой причине по всему миру стал проводиться постоянный мониторинг содержания CH_4 в атмосферном воздухе (см. например, [Zhou et al., 2004; Artuso et al., 2007]).

При этом станции мониторинга располагаются в самых разнообразных типах ландшафтов, начиная с высокогорных плато и заканчивая островами. Не могли не коснуться подобные исследования и болот, ведь они, благодаря идущим в их толще процессам анаэробного разложения органического вещества [Заварзин, 2004], выделяют от 100 до 230 $\text{TgCH}_4/\text{год}$ [Denman et al., 2007]. Учитывая, что общая эмиссия со всей Земли составляет от 480 до 600 $\text{TgCH}_4/\text{год}$ [Бажин, 2000], можно сделать вывод о том, что болота вносят существенный вклад в эмиссию метана. Особый интерес в этом отношении представляют болотные экосистемы России, занимающие вместе с заболоченными мелкоотторфованными землями примерно 21.6% ее территории [Вомперский и др., 2005]. Многолетний мониторинг содержания метана в атмосфере продемонстрировал, что повышенная концентрация метана над болотами наблюдается и на высотах нескольких десятков метров (см., например, [Аршинов и др., 2009]), где эта особенность показана на примере центральной части Западной Сибири).

Однако, на наш взгляд, весьма слабое внимание было уделено изучению динамики метана на меньших пространственных и временных масштабах. В связи с этим основной целью данной работы являлась оценка типичных значений и суточной изменчивости концентрации метана над конкретным болотом «Мухрино». В ходе полевых исследований на разных уровнях измерялись температура и концентрация метана, на одном уровне измерялась скорость ветра. По результатам измерений рассчитывался коэффициент турбулентной диффузии, который соотносился с динамикой концентрации метана. Представляемая статья является первой из серии работ, подготавливаемых по собранным данным. Поэтому в статье больше внимания было уделено описанию полевых исследований. Результаты исследования могут быть полезны при решении обратной задачи – восстановлении эмиссии метана по атмосферным измерениям (см., например, обзор [Глаголев, 2010]). В дальнейшем мы планируем использовать полученные нами данные именно для этого.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Место исследований

В качестве места исследования было выбрано болото «Мухрино» (60.9° с.ш., 68.6° в.д.), представляющее собой крупный полностью олиготрофный сильновыпуклый болотный массив, располагающийся на 3-й надпойменной террасе Иртыша в 25 км к юго-западу от г. Ханты-Мансийска (Ханты-Мансийский Автономный Округ). Периферийная часть занята рьями, ближе к центру площадь рямов уменьшается, и они представлены отдельными островами среди преобладающих здесь грядово-

мочажинных комплексов. Измерения метеорологических параметров и концентрации метана проводились в центральной части массива, где находится обширная олиготрофная осоково-шейхцериево-сфагновая топь и несколько вторичных (с торфяным дном) озёр. Уровень болотных вод в радиусе 40 метров от точки измерений колеблется в пределах от -40 до 15 см (положительные и отрицательные величины обозначают ситуации, когда уровень болотных вод соответственно ниже и выше усредненной поверхности мха), значение pH варьирует от 3.8 до 4.2 [Клепцова и др., 2010]. Вдоль всего массива протекает внутриводный водоток, обрамленный мезоолиготрофной осоково-сфагновой топью (истоки р. Большая речка), значение pH для него 4.1-4.2. Средняя мощность торфа составляет 3-5 м.

Анализ обратных траекторий, проведенный по модели NOAA «HYSPLIT» [<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>] для высоты 100 метров над уровнем земной поверхности с последующей визуализацией в Google Earth, показал отсутствие влияния антропогенных источников эмиссии метана в точке измерений.

Синоптическая ситуация в районе измерений во время всех трёх сессий формировалась под влиянием антициклонов, причём 1-2 сентября некоторое влияние также было оказано подходящим атмосферным фронтом. Осадков за весь период измерений зафиксировано не было.

Измерение концентрации CH₄

Пробы атмосферного воздуха отбирались в 20 мл трёхкомпонентные пластиковые шприцы с тремя кольцами. Отбор проб производился с помощью тонкой пластиковой трубки диаметром 2 мм, один конец которой находился в точке отбора, а к другому с помощью герметично прикреплённой иглы для шприцов присоединялся сам шприц. Таких трубок устанавливалось две для одной точки отбора, то есть отбор проб вёлся в двух повторностях (отбор воздуха осуществлялся одновременно из обеих трубок). Отметим, что перед отбором осуществлялось однократное выкачивание (проба отбиралась и выпускалась в окружающую атмосферу) с целью вытеснить воздух, оставшийся в трубке после предыдущего отбора. Малый диаметр трубки выбран для того, чтобы не создавать искусственное перемешивание воздуха в пространстве вокруг точки отбора из-за большого числа выкачиваний.

Периодичность отбора проб варьировала в пределах от 15 минут до 1 часа в зависимости от локальных задач и времени суток. Всего было сделано 3 серии измерений: 29-31 июля, 10-11 августа, и 1-2 сентября. Измерения концентрации метана велись на двух высотах: 170 и 600 см над поверхностью болота.

Для предотвращения утечек метана до момента анализа на хроматографе шприцы с пробами хранились в кипячёной воде (она не содержит таких концентраций метана, которые могли бы сильно повлиять на результат измерения за счёт того, что газ перетечёт в шприцы). Кроме того, анализ проводился не позднее 48 часов после отбора. Концентрация газа в пробах измерялась на хроматографе «Кристалл-5000» (оснащённом пламенно-ионизационным детектором) со стальными колонками, наполненными сорбентом Porapak QS. Для калибровки использовались стандарты (производство: National Institute for Environmental Studies, Япония) со смесью метан/воздух, находящейся под высоким давлением, с концентрацией метана 1.99, 5 и 9.84 ppm, точность стандартов составляла ±0.01 ppm.

Измерения температуры и скорости ветра

Температура определялась электронными датчиками «Thermochron iButton» DS1921G-F5 и DS1921Z-F5 (фирмы DALLAS Semiconductor, США). Для предотвращения нагрева датчиков, происходящего при прямом попадании солнечных лучей, их помещали в центр полых цилиндров, обклеенных светоотражающим материалом. Цилиндры устанавливались таким образом, чтобы горизонтальные потоки воздуха свободно проникали внутрь цилиндра.

Скорость ветра измерялась с помощью ручного чашечного анемометра MC-13. Характеристики этого анемометра не позволяют ему измерять скорость ветра ниже 0.3 м·с⁻¹. Поэтому для случаев, когда на протяжении измерения анемометр останавливался, принималась следующая формула расчёта скорости ветра за период измерения U (м·с⁻¹):

$$U = (U_{\text{факт}} \cdot t_{\text{движ}} + 0.15 \cdot t_{\text{ост}}) / t_{\text{общ}} \quad (1)$$

где $U_{\text{факт}}$ (м·с⁻¹) – фактическая скорость ветра, измеренная за время $t_{\text{движ}}$ (с), на протяжении которого анемометр вращался; $t_{\text{ост}}$ (с) – время, на протяжении которого анемометр не вращался; $t_{\text{общ}} = t_{\text{движ}} + t_{\text{ост}}$ – общее время проведения одного измерения (в нашей работе оно составляло 600 секунд, температура усреднялась за этот же период). Как видно из формулы, для периода, когда анемометр не вращался, скорость ветра принималась равной 0.15 м·с⁻¹.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений концентрации метана на высоте 170 см и расчёта коэффициента турбулентной диффузии (который рассчитывался по модели [Берлянд, 1985]) для трёх серий измерений показаны на рисунках 1-3. Для большей наглядности и удобства использования эти данные помещены в таблицы 1 и 2. Динамика скорости ветра и температуры воздуха изображены на рисунках 4-6, на них же отмечен класс устойчивости атмосферы (согласно [Седунов, 1991]) для соответствующих периодов времени.

Полученная вариабельность значений концентрации метана и коэффициента диффузии согласуется с литературными данными (общие данные, касающиеся распространения пассивных примесей в атмосфере, можно найти в [Безуглая и Берлянд, 1983]). Так, в работе [Maksyutov et al., 1999] приведенные значения концентрации CH_4 на высоте 5 метров при сопоставимых величинах коэффициента диффузии оказываются несколько выше полученных нами значений. Вероятно, это можно объяснить тем, что приведённые в вышеупомянутой работе данные получены при изучении таких участков болота, которые, по данным, полученным с помощью камерного метода, выделяют больше метана (доверительный интервал (вероятность 0.95) $6-13.5 \text{ мгС-CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$, по данным [Глаголев и др., 2007]), чем участок болота, измерения концентрации CH_4 над которым проводились нами (среднее значение плотности потока для аналогичных по свойствам олиготрофных мочажин средней тайги – $5.5 \pm 1 \text{ мгС-CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ согласно [Наумов и др., 2007]).

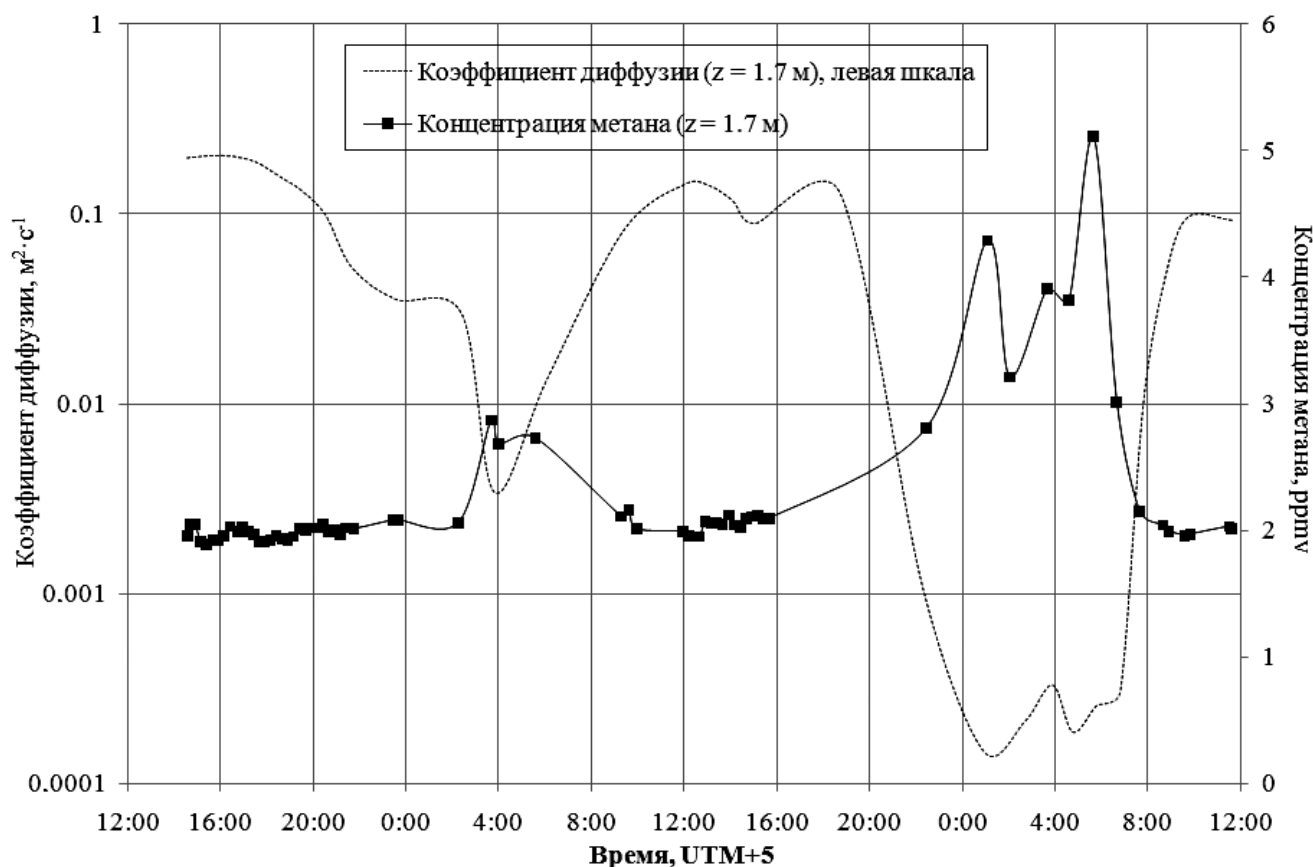


Рис. 1. Динамика коэффициента диффузии и концентрации CH_4 на высоте 1.7 м 29-31 июля.

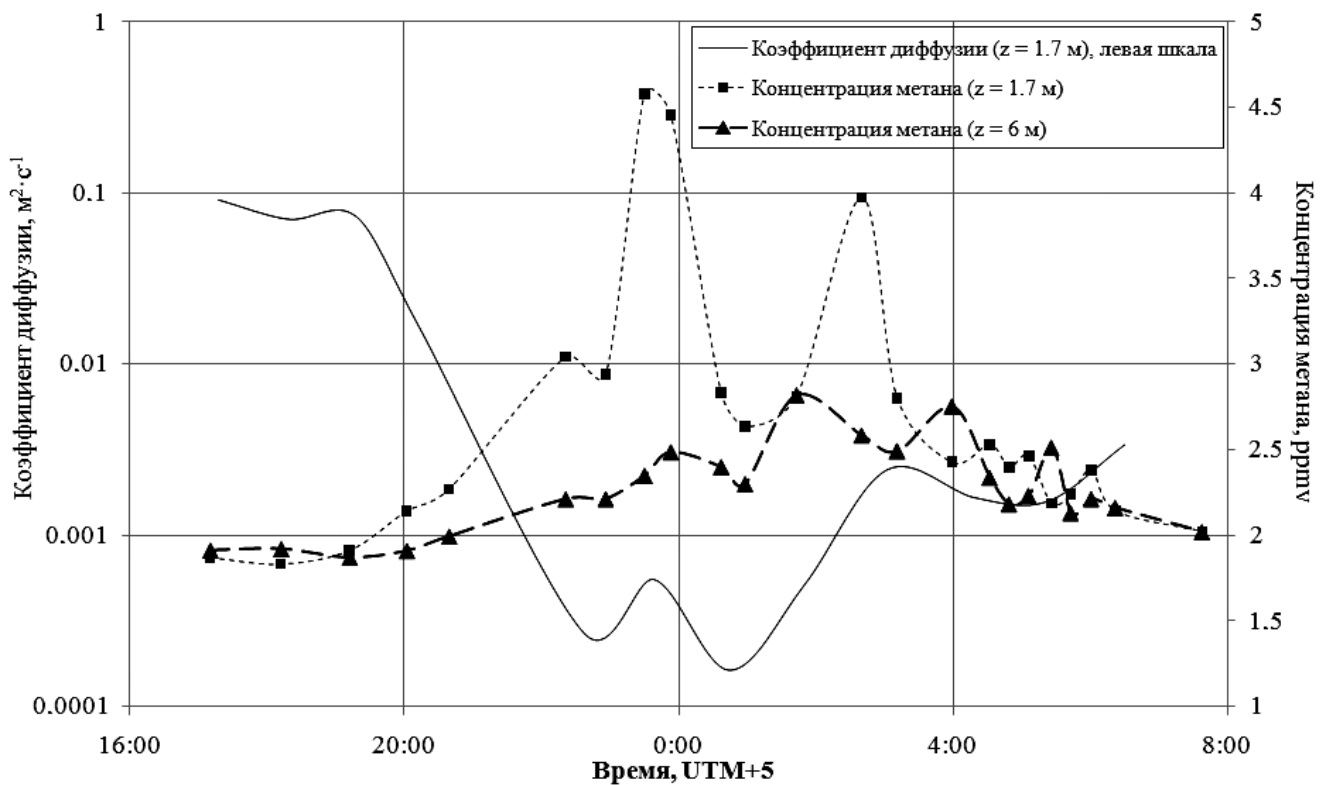


Рис. 2. Динамика коэффициента диффузии на высоте 1.7 м и концентрации CH_4 на высотах 1.7 и 6 м 10-11 августа.

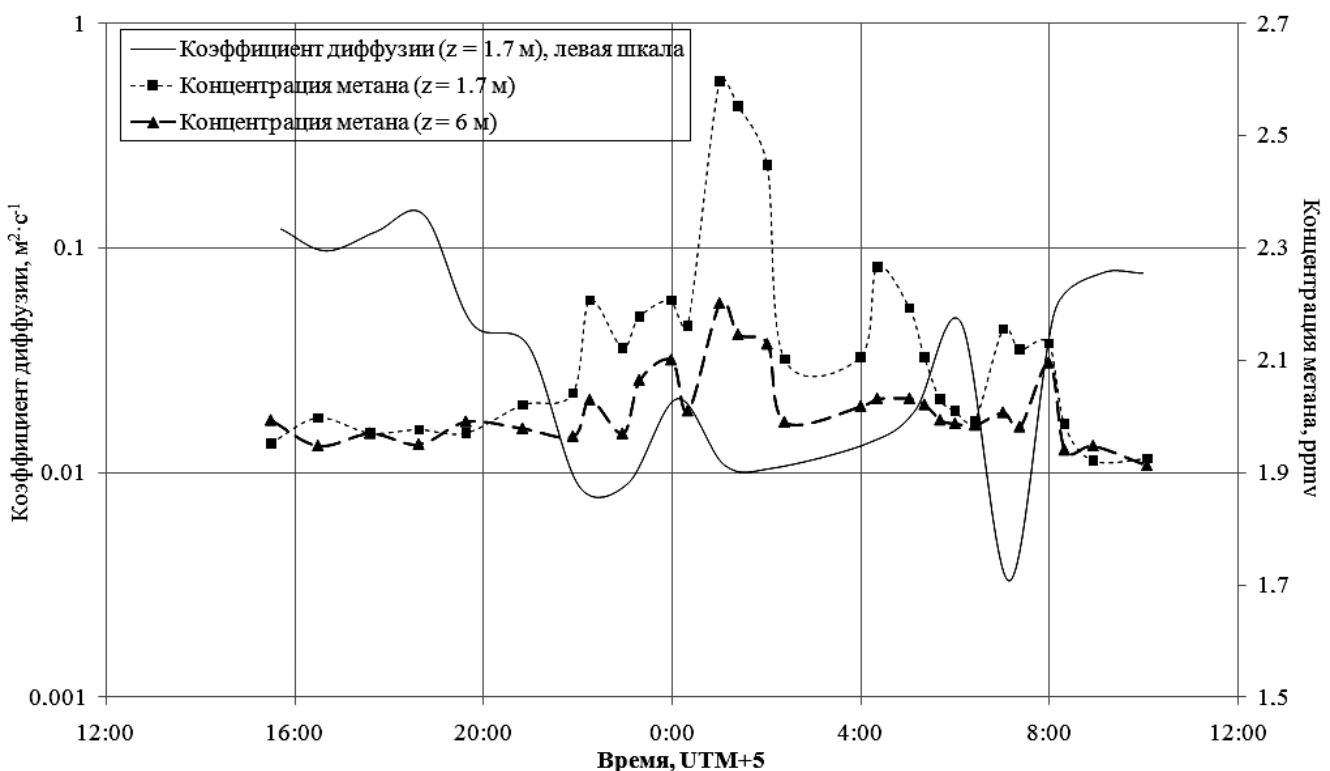


Рис. 3. Динамика коэффициента диффузии на высоте 1.7 м и концентрации CH_4 на высотах 1.7 и 6 м 1-2 сентября.

Исходя из простейших соображений законов переноса и учитывая, что метан на рассматриваемом временном масштабе не вступает в химические реакции в тропосфере (реакция с гидроксил-радикалом имеет значительно меньшую скорость [Бажин, 2000]), а болото в районе точки измерения является однородным источником метана, динамика концентрации CH_4 в приземном слое атмосферы определяется двумя факторами: динамикой плотности потока этого газа с поверхности болота и процессами перемешивания в приземном слое атмосферы. Рассмотрим вклад каждого фактора на временном масштабе «часы-сутки».

Таблица 1. Значения коэффициента турбулентной диффузии в атмосфере и метеорологических величин, необходимых для его вычисления по модели [Берлянд, 1985, с. 22-23].

<i>Дата (высоты измерения температуры)</i>	<i>Время, УТМ+5ч</i>	<i>Скорость ветра на высоте 0.8 м, м·с⁻¹</i>	<i>Температура на высоте z₁, °С</i>	<i>Температура на высоте z₂, °С</i>	<i>Коэффициент диффузии на высоте 1.7 м, м²·с⁻¹</i>
29.07.2010 (z ₁ = 0.45 м, z ₂ = 3.8 м)	14:35	3.93	24.55	22.68	0.3508
	15:35	4.14	25.40	23.68	0.3662
	16:35	4.35	25.83	24.58	0.3761
	17:35	4.05	26.35	25.20	0.3502
	18:35	3.50	25.70	24.88	0.2996
	19:35	3.21	23.93	23.70	0.2658
	20:35	2.60	22.43	22.48	0.2097
	21:40	1.70	20.30	20.68	0.1307
30.07.2010 (z ₁ = 0.45 м, z ₂ = 3.8 м)	23:35	1.33	18.13	18.68	0.0985
	2:25	1.05	16.33	16.65	0.0794
	3:50	0.48	13.95	15.10	0.0248
	6:05	0.21	15.93	15.65	0.0207
	9:24	2.09	21.30	21.23	0.1712
	12:05	2.68	23.50	21.68	0.2463
	13:05	3.00	20.98	20.00	0.2611
	14:05	2.43	20.35	19.38	0.2145
	15:05	1.54	22.90	21.48	0.1466
31.07.2010 (z ₁ = 0.45 м, z ₂ = 3.8 м)	18:44	2.44	26.50	25.03	0.2222
	22:18	0.38	12.60	14.88	0.0105
	0:53	0.15	7.25	10.07	0.0014
	2:40	0.16	5.02	7.03	0.0019
	3:52	0.15	4.05	5.27	0.0031
	4:45	0.15	3.95	6.08	0.0017
	5:47	0.15	5.08	6.62	0.0024
	6:47	0.15	10.85	12.20	0.0027
	7:47	0.83	15.93	17.13	0.0505
10.08.2010 (z ₁ = 0.39 м, z ₂ = 5.8 м)	8:47	1.26	20.55	20.50	0.1039
	9:43	1.49	24.08	22.08	0.1485
	11:37	1.32	26.75	24.48	0.1369
	17:17	1.83	17.68	16.63	0.2097
	18:18	1.49	16.75	16.10	0.1662
	19:18	1.17	18.48	16.80	0.1519
11.08.2010 (z ₁ = 0.39 м, z ₂ = 5.8 м)	20:12	0.31	15.84	15.56	0.0370
	22:37	0.20	4.10	8.28	0.0016
	23:38	0.32	3.58	7.33	0.0043
	0:44	0.15	4.00	7.10	0.0012
	1:50	0.18	6.05	7.45	0.0039
	3:02	0.47	6.50	8.40	0.0186
01.09.2010 (z ₁ = 0.45 м, z ₂ = 5.74 м)	4:19	0.32	7.15	9.28	0.0078
	5:23	0.36	8.10	9.83	0.0123
	6:30	0.54	9.03	10.83	0.0264
	15:42	2.87	16.73	16.35	0.3201
	16:39	2.26	15.00	14.63	0.2546
	17:43	3.08	12.93	13.00	0.3285
	18:44	3.44	10.30	10.03	0.3789
02.09.2010 (z ₁ = 0.45 м, z ₂ = 5.74 м)	19:45	0.88	7.60	6.90	0.1112
	20:56	0.85	6.18	5.97	0.0973
	22:01	0.16	5.68	5.53	0.0202
	23:03	0.17	5.45	5.33	0.0215
	0:06	0.35	5.30	4.95	0.0459
	1:06	0.15	5.03	4.70	0.0225
	2:08	0.15	5.03	4.73	0.0221
	4:07	0.23	3.93	3.63	0.0307
02.09.2010 (z ₁ = 0.45 м, z ₂ = 5.74 м)	5:08	0.50	3.33	3.30	0.0543
	6:07	0.92	4.25	3.65	0.1140
	7:08	0.27	1.83	2.33	0.0189
	8:06	0.95	6.38	5.43	0.1235
	9:05	1.36	8.93	7.50	0.1783
	9:58	1.46	9.30	8.15	0.1839

Таблица 2. Значения концентрации CH_4 в атмосфере на высотах 1.70 м и 6 м за весь период измерений

Дата	Время	Концентрация CH_4 на высоте 2 м, $\mu\text{рт}$	Дата	Время	Концентрация CH_4 , $\mu\text{рт}$		Дата	Время	Концентрация CH_4 , $\mu\text{рт}$		
					На высоте 2 м	На высоте 6 м			На высоте 2 м	На высоте 6 м	
29.07	14:35	1.96	30.07	12:25	1.95	-	11.08	3:11	2.80	2.49	
	14:42	2.05		12:40	1.95	-		3:59	2.43	2.75	
	14:55	2.05		12:55	2.07	-		4:32	2.53	2.34	
	15:10	1.91		13:12	2.06	-		4:49	2.40	2.18	
	15:25	1.89		13:25	2.06	-		5:06	2.46	2.23	
	15:43	1.92		13:40	2.05	-		5:26	2.19	2.51	
	15:55	1.92		13:56	2.12	-		5:43	2.24	2.13	
	16:10	1.96		14:12	2.04	-		6:01	2.38	2.21	
	16:25	2.03		14:25	2.02	-		6:22	2.14	2.16	
	16:44	1.99		14:40	2.09	-		7:38	2.02	2.02	
	16:57	2.03		14:55	2.11	-		01.09	18:30	1.95	1.99
	17:11	1.99		15:12	2.12	-			19:30	2.00	1.95
	17:26	1.97		15:25	2.09	-			20:36	1.97	1.97
	17:43	1.91		15:40	2.09	-			21:38	1.98	1.95
	17:55	1.91	22:27	2.81	-	19:38	1.97		1.99		
	18:10	1.92	31.07	1:05	4.29	-	20:50		2.02	1.98	
	18:25	1.96		2:02	3.21	-	21:54	2.04	1.96		
	18:42	1.93		3:39	3.91	-	22:15	2.21	2.03		
	18:55	1.92		4:35	3.82	-	22:57	2.12	1.97		
	19:10	1.95		5:39	5.11	-	23:18	2.18	2.07		
	19:26	2.01		6:39	3.01	-	23:59	2.21	2.10		
	19:42	2.00		7:38	2.15	-	02.09	0:20	2.16	2.01	
	19:55	2.02		8:40	2.04	-		1:00	2.60	2.20	
	20:12	2.02		8:55	1.99	-		1:24	2.55	2.15	
	20:25	2.05		9:36	1.96	-		2:01	2.45	2.13	
	20:42	1.99	9:51	1.97	-	2:23		2.10	1.99		
	20:55	2.00	11:31	2.03	-	4:00		2.11	2.02		
	21:10	1.97	11:45	2.01	-	4:21		2.27	2.03		
21:25	2.02	10.08	17:10	1.87	1.91	5:02		2.19	2.03		
21:46	2.01		18:12	1.83	1.92	5:21	2.11	2.02			
23:28	2.08		19:12	1.91	1.87	5:41	2.03	1.99			
23:42	2.08		20:02	2.14	1.91	6:00	2.01	1.99			
30.07	2:17		2.06	20:39	2.27	1.99	6:25	1.99	1.98		
	3:41		2.87	22:21	3.04	2.21	7:01	2.16	2.01		
	4:01	2.68	22:56	2.94	2.21	7:22	2.12	1.98			
	5:35	2.73	23:30	4.58	2.35	7:59	2.13	2.10			
	9:18	2.11	23:53	4.45	2.49	8:19	1.99	1.94			
	9:38	2.16	11.08	0:37	2.83	2.40	8:55	1.92	1.95		
	9:58	2.01		0:58	2.63	2.30	10:04	1.92	1.91		
	11:56	1.99		1:43	2.81	2.82					
	12:13	1.96		2:40	3.97	2.58					

Плотность потока метана на указанном временном масштабе не характеризуется какой-либо однозначной тенденцией изменения. В литературе можно найти сведения, полученные с помощью метода статических камер, о том, что в «ночное время» плотность потока CH_4 больше, чем «днём» (например, в [Глаголев, Смагин, 2006] это превышение составляет в среднем 38%; в этой работе за ночь принимался период с 23:00 до 7:00). В то же время, в работе [Глаголев, Шнырёв, 2007] не было обнаружено явно выраженной регулярной единообразной динамики плотности потока метана.

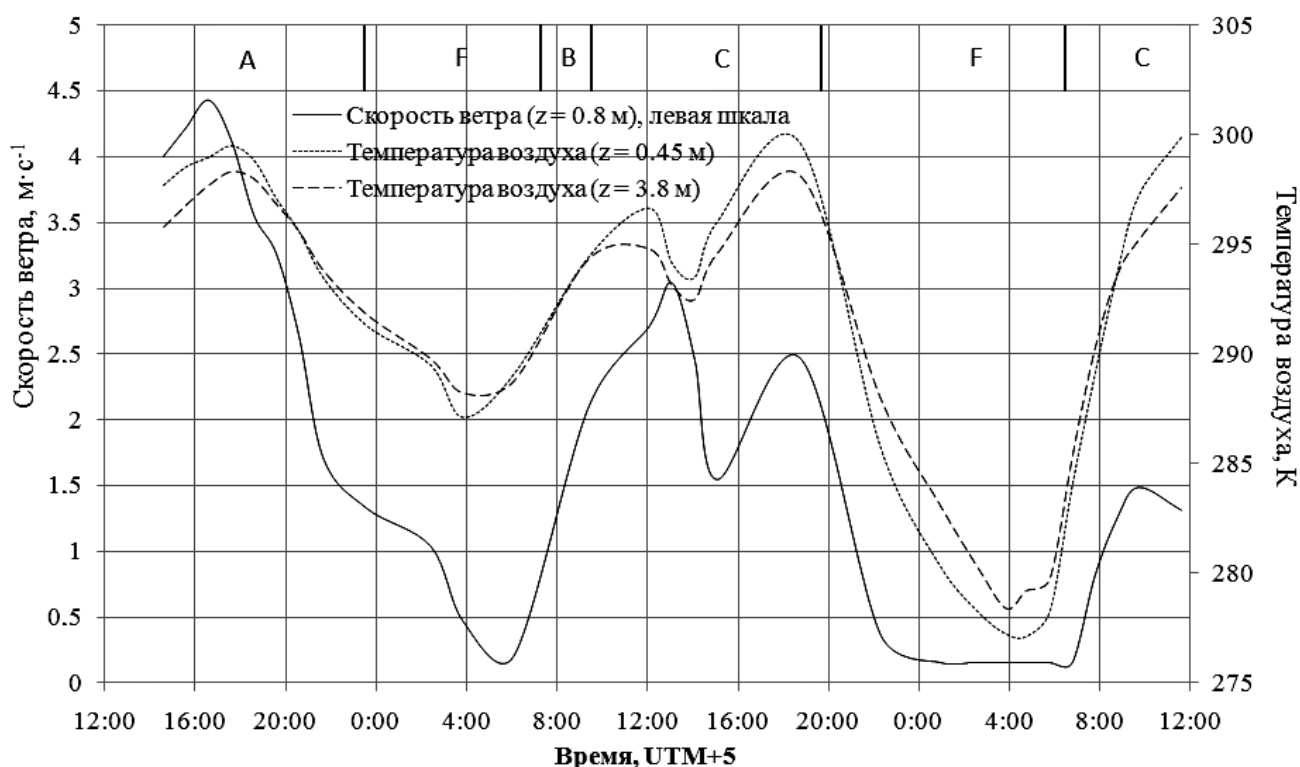


Рис. 4. Динамика скорости ветра и температуры воздуха 29-31 июля.

Интенсивность вертикального турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы можно оценить с помощью рассчитанного коэффициента турбулентной диффузии. Коэффициент диффузии в масштабе «часы-сутки», исходя из полученных нами закономерностей, меняется в пределах нескольких порядков в зависимости от стратификации атмосферы. Эта зависимость хорошо иллюстрируется значимыми отличиями величин коэффициентов в первой и второй сериях (серии 29-31 июля и 10-11 августа соответственно) от третьей серии (1-2 сентября). Разделим условно сутки на две части: дневную, когда температура понижается с высотой, и ночную, когда температура остаётся постоянной или повышается с увеличением высоты. Отметим, что ночные периоды при этом приходятся в среднем на период с 22:00 до 8:00, что приблизительно соответствует предположению, принятому в рассматриваемой выше работе [Глаголев, Смагин, 2006]. Днём во время всех трёх серий стратификация атмосферы была неустойчивой, скорости ветра варьировали в диапазоне 2-5 м·с⁻¹. В ночное же время 30-31 июля и 10-11 августа в приземном слое сформировалась температурная инверсия, стратификация была сильно устойчивой, в то время как в ночь с 1 на 2 сентября температурная стратификация была нейтральной, скорость ветра колебалась в районе 0.4-0.5 м·с⁻¹. Это следующим образом отражается в значениях коэффициента диффузии: в «ночное время» в первых двух сериях они на порядок и более меньше соответствующих значений для третьей серии (см. рис. 1-3). Такое различие нашло отражение и в том, что значение концентрации метана в третьей серии измерений в «ночное время» не поднимались выше 2.6 ppmv, в то время как в первой и второй серии значения концентрации поднимались до 5.1 и 4.6 ppmv соответственно. «Дневные» значения концентрации CH₄ для всех трёх серий примерно одинаковы и колеблются около уровня 2 ppmv. То есть превышения «дневной» концентрации над «ночной» в зависимости от коэффициента диффузии могут достигать 150%, что намного выше того ночного увеличения плотности потока, которое в ряде случаев было зарегистрировано камерным методом.

Таким образом, основываясь на полученных экспериментальных и литературных данных, можно сделать вывод о том, что над однородным болотом суточная динамика концентрации метана в приземном слое атмосферы определяется в основном процессами перемешивания в самом приземном слое. Максимальное содержание метана будет наблюдаться в те моменты, когда вертикальная диффузия будет близка к молекулярной (для метана это $2.1 \cdot 10^{-5}$ м²·с⁻¹ при 0°C [Григорьев и Мейлихов, 1991, с. 375]).

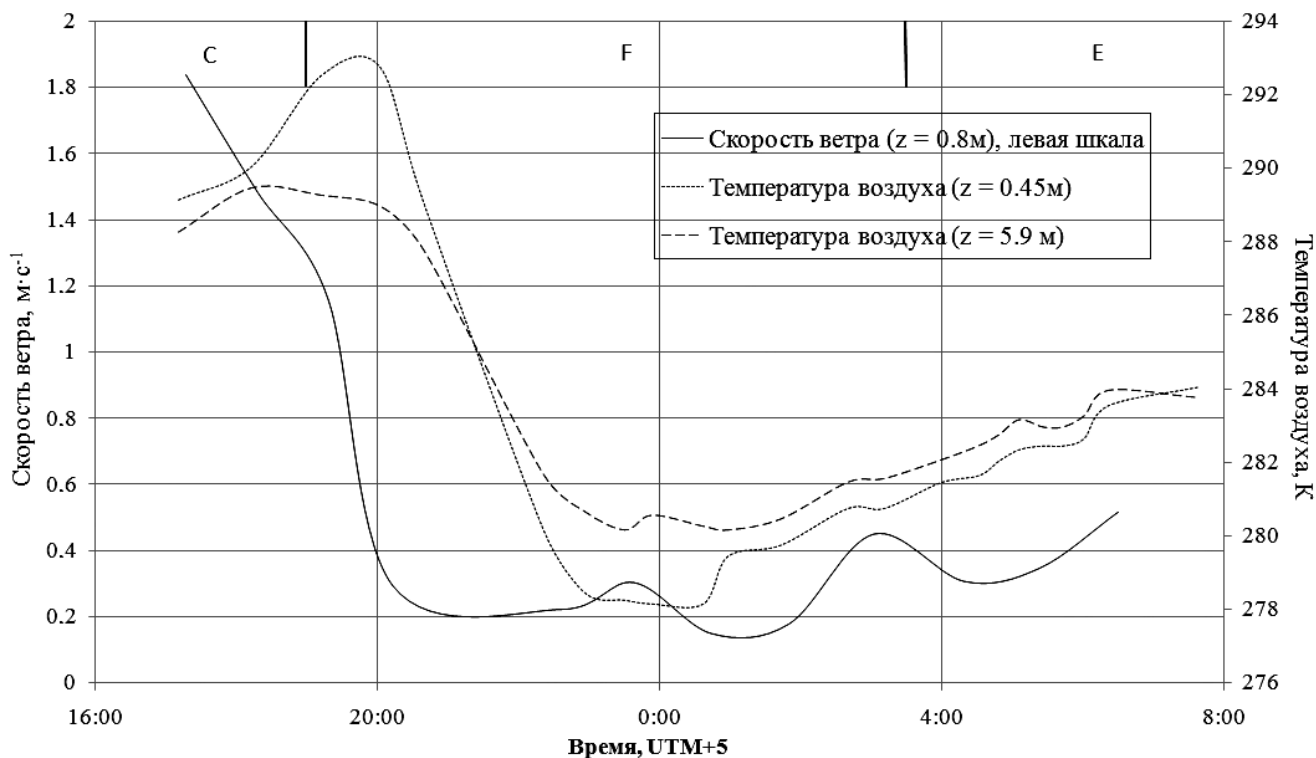


Рис. 5. Динамика скорости ветра и температуры воздуха 10-11 августа.

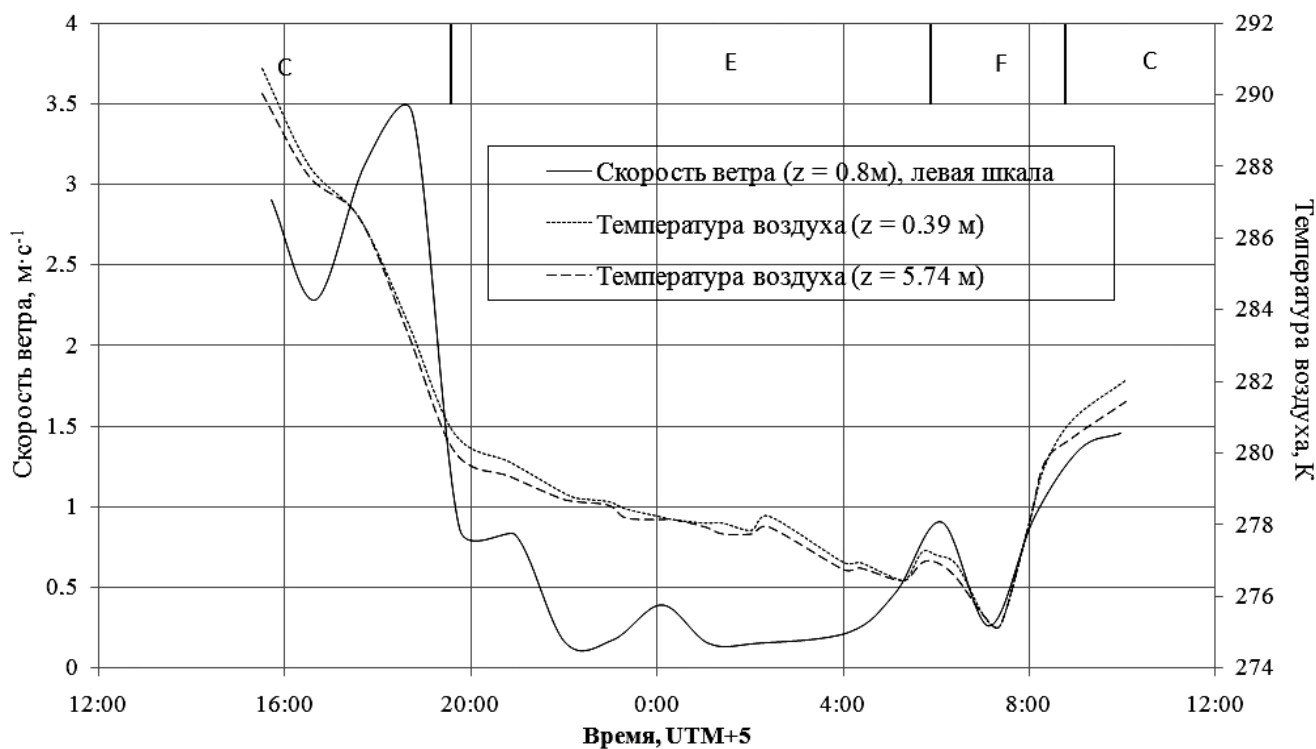


Рис. 6. Динамика скорости ветра и температуры воздуха 1-2 сентября.

Этому тезису также удовлетворяет результат проведённой нелинейной регрессии (использовалась функция натурального логарифма) между концентрацией в атмосфере на высоте 1.7 м и коэффициентом диффузии на этой же высоте за весь период наблюдений. Зависимость оказалась следующей:

$$C_{\text{атм}} = -0.102 \cdot \ln(K_{\text{диф}}) + 0.8474,$$

где $C_{\text{атм}}$ (ppmv) – значение атмосферной концентрации метана на высоте 1.7 м в данный момент времени, $K_{\text{диф}}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) – коэффициент турбулентной диффузии на той же высоте в тот же момент времени.

Коэффициент детерминации для такой регрессионной модели оказался равен 0.80. Это значение можно считать весьма высоким с учетом того, что точность измерения скорости ветра была относительно невысока. Напомним, что в подобранной регрессионной формуле не учитывается горизонтальный перенос. Отметим, что в выборку, по которой проводилась регрессия, не включались значения коэффициента диффузии, полученные для моментов времени, в которые устанавливалась сильно устойчивая стратификация атмосферы, поскольку для этих моментов времени коэффициенты диффузии были рассчитаны со значительной относительной ошибкой. Это происходит вследствие низкой чувствительности анемометра. Эта величина ($0.3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) на порядок ниже скоростей ветра, обычных для ночей, в которые стратификация атмосферы оказывается сильно устойчивой (характерные значения этих скоростей указаны, например, в [Глаголев и др., 2010]). Поэтому в периоды времени, в которые формируется устойчивая стратификация атмосферы, анемометр может не вращаться совсем. Но в соответствии с формулой (1) мы вынуждены приписывать этим периодам времени скорость ветра, равную $0.15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, хотя она может быть гораздо ниже. Это и вносит значительную ошибку при расчёте коэффициента диффузии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке компании "Салым Петролеум Девелопмент НВ", официального спонсора кафедры ЮНЕСКО "Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата" Югорского государственного университета.

Автору хотелось бы выразить особую благодарность д.б.н. Е.Д. Лапшиной (Югорский Государственный Университет) и к.б.н. М.В. Глаголеву (МГУ им. М.В. Ломоносова) за помощь в организации и проведении исследований.

Кроме того, автор выражает признательность сотрудникам лаборатории экологического приборостроения института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН м.н.с. А.И. Комарову и инж. А.А. Кобзеву за помощь в проверке анемометра.

ЛИТЕРАТУРА

- Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Краснов О.А., Фофанов А.В., Inoe G., Machida T., Maksutov Sh., Sasakawa M., Shimoyma K. 2009. Межгодовая изменчивость концентраций парниковых газов в Западной Сибири // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Мат-лы рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс. С. 26-28.
- Бажин Н.М. 2000. Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журнал. Том 6. № 3. С. 52-57.
- Берлянд М.Е. 1985. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. 290 с.
- Вомперский С.Э., Сиринов А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Майков Д.А. 2005. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Изв. РАН. Сер. географ. №5. С. 21-33.
- Глаголев М.В., Смагин А.В. 2006. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Доклады по экологическому почвоведению. Выпуск 3. №3. С. 75-114.
- Глаголев М.В., Головацкая Е.А., Шнырёв Н.А. 2007. Эмиссия парниковых газов на территории Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. №2. С. 197-210.
- Глаголев М.В., Шнырёв Н.А. 2007. Динамика летне-осенней эмиссии CH_4 естественными болотами (на примере юга Томской области) // Вестник Московского Университета, сер. 17: Почвоведение. №1. С. 8-15.
- Глаголев М.В. 2010. К методу «обратной задачи» для определения поверхностной плотности потока газа из почвы // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Том 1. № 1. С. 15-30. **Также доступна по URL** (дата обращения: 30.07.2010): http://www.ugrasu.ru/international/unesco/journal/content/2010_1/documents/Glagolev.pdf
- Заварзин Г.А. 2004. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука. 367 с.
- Клепцова И.Е., Глаголев М.В., Филиппов И.В., Максютов Ш.Ш. 2010. Эмиссия метана из рямов и гряд средней тайги Западной Сибири // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т.1. №1. С. 56-64. **Также доступна по URL** (дата обращения: 30.07.2010): http://www.ugrasu.ru/international/unesco/journal/content/2010_1/documents/Klepzova.pdf
- Безуглая Э.Ю., Берлянд М.Е. (ред.). 1983. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат.
- Наумов А.В., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. 2007. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. №5. С. 771-779.
- Седунов Ю.С. (ред.). 1991. Атмосфера. Л.: Гидрометеиздат. 510 с.
- Григорьев И.С., Мейлихов Е.З. (ред.). 1991. Физические величины. М.: Энергоатомиздат. 1232 с.
- Artuso F., Chamard P., Piacentino S., Di Sarra A., Melonia D., Monteleone F., Sferlazzob D.M., Thierya F. 2007. Atmospheric methane in the Mediterranean: Analysis of measurements at the island of Lampedusa during 1995–2005 // Atmospheric Environment. V. 41. P. 3877–3888.
- Cicerone R.J., Oremland R.S. 1988. Biogeochemical aspects of atmospheric methane // Global biogeochemical cycles. V. 2. №4. P. 299-327.
- Denman K.L. et al. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Solomon et al. (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press. Chapter 7. P. 499-588.
- Etioppe G., Lassey K.R., Klusman R.W., Boschi E. 2008. Reappraisal of the fossil methane budget and related emission from geologic sources // Geophys. Res. Lett. V. 35. L09307. DOI:10.1029/2008GL033623.

Maksyutov S., Dorofeev A., Makhov G., Sorokin M., Panikov N., Gadzhiev I., Inoue G. 1999. Atmospheric methane concentrations over wetland: measurements and modeling // Proceedings of the fourth symposium on the joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 1995 / Fukuda M. (ed.). Sapporo: Kohsoku Printing Center. P. 125-132.

NOAA HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. 10.11.2010. URL: <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>. (дата обращения - 14.10.2010).

Zhou L.X., Worthy D.E.J., Lang P.M., Ernst M.K., Zhang X.C., Wen Y.P., Li J.L. 2004. Ten years of atmospheric methane observations at a high elevation site in Western China // Atmospheric Environment. V. 38. P. 7041-7054.

ON A CORRELATION BETWEEN DIURNAL PATTERN OF THE METHANE MIXING RATIO ABOVE THE MIRE SURFACE AND THE DIFFUSION COEFFICIENT

Sabrekov A.F.

Methane plays an important role in the atmospheric chemistry and radiative budget of the Earth. For this reason, continuous monitoring of the methane mixing ratio is carried out throughout the world. The studies involve wetland landscapes because those are the largest natural source of methane.

In our opinion, the previous studies have paid an insufficient attention to dynamics of the methane mixing ratio at smaller scale in space and time. Therefore, in the article we attempt to analyze diurnal pattern of the methane mixing ratio in the surface boundary layer and to study relationship between the mixing ratio and the coefficient of turbulent diffusion. This information can be used for estimation of methane emission if we know the diffusion coefficient. It can also help in separating point sources (*e. g.*, leaks from pipelines) from weaker, per square unit, but extensive sources (*e. g.*, wetlands). On the base of the conservation law and the absence of chemical sources and sinks of methane in the atmosphere (the reaction of methane with hydroxyl radical is very slow), the dynamics of the methane mixing ratio in the surface boundary layer is determined by two factors: the surface methane emission and the circulation processes in the surface boundary layer.

Methane emission did not follow an easily describable pattern, although the possibility of an increase of emission in night-time is pointed out in some articles. The intensity of the circulation processes in the surface boundary layer clearly differed between day and night and strongly varied depending on stability of the atmosphere. In the study, the maximum night-time rise of the methane mixing ratio was significantly more pronounced than the night-time increase of methane emission, which had been described in some studies. These maximal night-time peaks are associated with temperature inversions in the surface boundary layer. The coefficient of determination for the relationship between the coefficient of turbulent diffusion and the methane mixing ratio on the same height is quite high, 0.80. Thus, we can make a conclusion that the diurnal pattern of the methane mixing ratio in the surface boundary layer is mainly determined by the turbulence in the surface boundary layer.

Key words: diurnal pattern of the methane mixing ratio in the surface boundary layer, coefficient of turbulent diffusion, methane emission at wetlands.

Поступила в редакцию: 25.10.2010
Переработанный вариант: 14.12.2011