

УДК 630*43

Я

© *Ульбаев Т.С., Лукьянова Т.С., Мансуров Г.Н., 2012*

БОЛОТНЫЕ ГАЗЫ КАК ОДНА ИЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРИЧИН САМОВОЗГОРАНИЯ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ РАЙОНАХ

И

Аннотация. Лесные пожары сопутствуют человечеству на протяжении всей его истории. Они наносят большой ущерб природным зонам, населенным пунктам и городам. Причины лесных пожаров разнообразны, и одна из них – самовозгорание болотного газа, в состав которого входят метан и другие горючие соединения. Было проведено исследование по оценке возможной пожароопасности разных районов Московской области (Шатурского, Талдомского, Одинцовского и Домодедовского). Образцы болотного газа изучались на газовом хроматографе Кристаллюкс-4000М.

М

Ключевые слова: метан, болота, болотные газы, бактерии, газовая хроматография, лесные пожары.

© *T. Ulybayev, T. Lukyanova, G. Mansurov, 2012*

MARSH GASES AS ONE OF THE NATURAL REASONS OF SELF- IGNITION IN BOGGY AREAS

И

Abstract. Forest fires accompany mankind throughout its history. They cause extensive damage to landscape areas, human settlements and cities. Causes of forest fires are varied and one of them is spontaneous combustion of marsh gas, which includes methane and other flammable compounds. An experiment was conducted to assess the potential fire hazard of different districts of Moscow region (Shatura, Taldom, Odintsovo and Domodedovo districts). The marsh gas samples were analyzed in gas chromatograph Kristallux-4000m.

Х

Key words: methane, marshes, marsh gases, bacteria, gas chromatography, forest fires.

Изучение состава болотного газа в разных районах Московской области позволит сделать обоснованный вывод о наиболее вероятной причине возникновения естественных природных пожаров в этом регионе.

Болотный газ образуется в толще болот и других водоемов при анаэробных условиях в процессе разложения целлюлозы под воздействием метаногенных бактерий (*Methanobrevibacterarboriphilicus*, *Methanobacteriumformicum* и др.) [5].

Болота являются одним из крупнейших источников выделения метана в природе. В России сосредоточено около двух третей всех болот мира. Общая площадь заболоченных земель в России ~ 340 млн. га; из них около 210 млн. га покрыты лесами. Болотный газ выделяется в атмосферу непрерывно, причем летом за сутки с одного гектара может выделяться до 2,4 кг метана [1].

Наряду с метаном, в экологических системах болот происходит биохимическое образование и других газообразных соединений – азота (N_2), аргона (Ar), водорода (H_2), этана (C_2H_6), фосфина (PH_3), дифосфина (P_2H_4), диоксида углерода (CO_2), сероводорода

(H₂S) и других. Самопроизвольное возгорание метана (T_{возг.}= 537,8°C) маловероятно, однако в присутствии иницирующих факторов он может легко воспламениться и стать естественной причиной возникновения лесного пожара. К таким факторам можно отнести сопутствующие примеси фосфина и дифосфина, которые, как и метан, образуются в анаэробных условиях болот и других водоемов. С началом сезонного потепления бактерии семейств Bacillaceae, Arthrobacteriaceae, Rhodobacteriaceae, Pseudomonadaceae, Rhizobiaceae, Enterobacteriaceae начинают производить фосфин, потребляя фосфор (из органических осадков в болотах и водоемах) и перерабатывая фосфорорганические соединения с помощью фермента C–P-лиазы [1]. Даже высокий уровень воды в заболоченной местности не является сдерживающим барьером для этих газов. Дифосфин, который может самопроизвольно воспламениться на воздухе, инициирует воспламенение фосфина, что, в свою очередь, может привести к возгоранию выделяющегося метана. В табл. 1 представлены температуры возгорания (T_{возг.}) некоторых компонентов болотного газа.

Таблица 1

Температуры возгорания некоторых компонентов болотного газа

Газ	T _{возг.} , °C
Дифосфин(P ₂ H ₄)	20–30
Фосфин(PH ₃)	150
Этан (C ₂ H ₆)	152
Сероводород (H ₂ S)	260
Метан (CH ₄)	537,8
Водород (H ₂)	580

Цепное возгорание компонентов болотного газа при достаточной концентрации и большой эмиссии, является реальной причиной возникновения естественных лесных и торфяных пожаров. Для облегчения борьбы с естественными лесными пожарами и, прежде всего, для их профилактики, необходимо проводить регулярный газовый мониторинг заболоченных районов с целью количественного контроля соотношения составных компонентов болотного газа.

Нами проведено экспедиционное исследование некоторых заболоченных участков на востоке, севере, западе и юге Московской области.

Представленная на рис. 1 экологическая карта болот Московской области позволяет получить приблизительную информацию о расположении болот, их типе, составе выделяющихся газов, районах возможного возникновения естественного природного пожара.

Забор газа и его предварительное хранение осуществлялось с помощью разработанного нами прибора (рис. 2) [2].

Образцы болотного газа исследовались на газовом хроматографе Кристаллюкс-4000 М с двумя рабочими детекторами сигналов (ДТП-1 и ДТП-2), с насадочной колонкой длиной 3 м и наполнителем карбоксив-*j*; газ-носитель – гелий, расход – 30мл/мин; температурный режим: колонка – 110°C, детектор – 150°C, испаритель – 90°C, газ – 30°C (объем газовой пробы – 500 мкл).

Взятые в разных районах Московской области болотные газы различались и по составу, и по процентному содержанию компонентов (табл. 2, 3 и рис. 3–8, 10, 11).

На рис. 3, 4 представлены результаты исследований проб болотного газа, взятых на востоке Московской области (Московская область, Шатурский район, остановка Харин-

ская, Туголесский Бор, торфяные болота) [4].

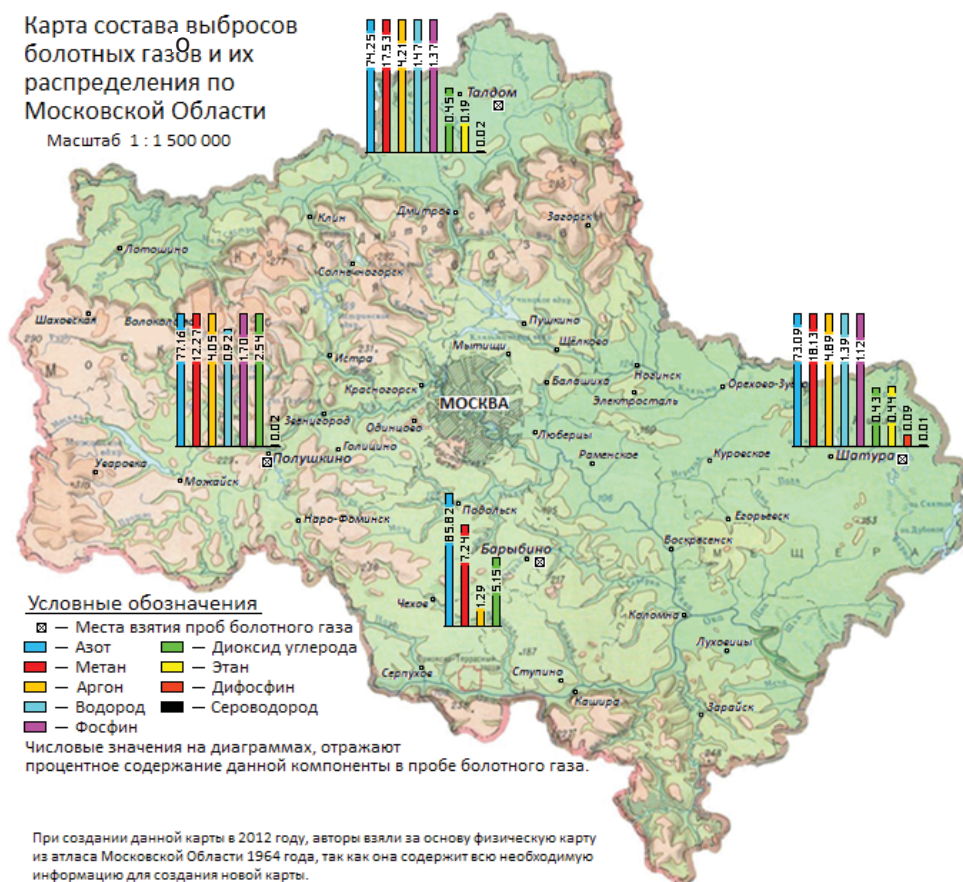


Рис. 1. Состав выбросов болотных газов в Московской области

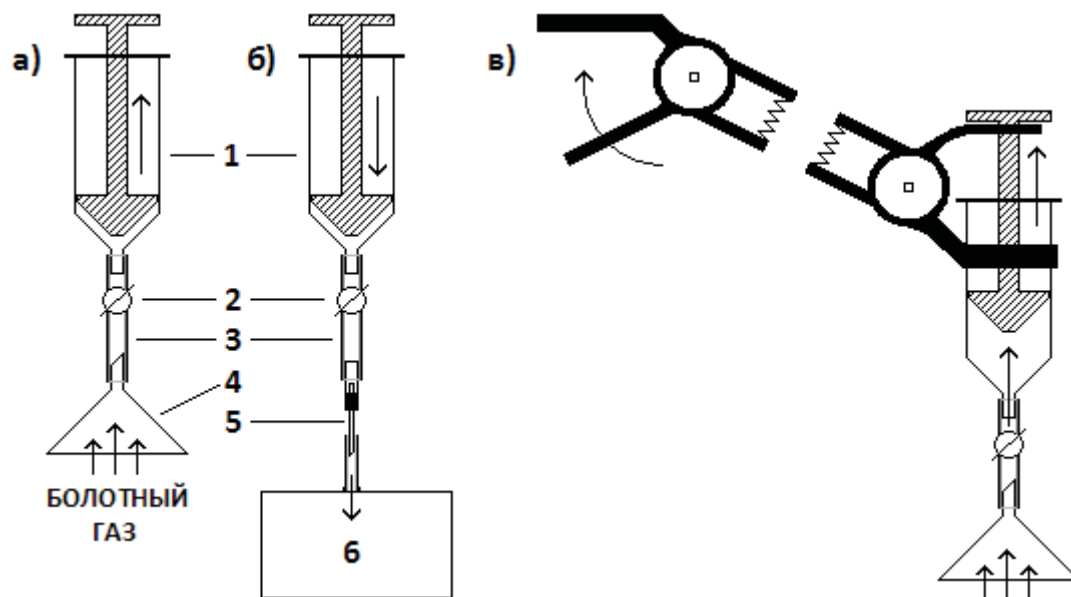


Рис. 2. Прибор для ручного забора проб болотного газа:

1 - шприц, 2 - кран, 3 - резиновая трубка, 4 - воронка, 5 - полая игла, 6 - газовый хроматограф;

- а) и б) - устройство прибора и схема его работы;
в) - схематическое изображение удлинителя, позволяющего брать образцы газа на расстоянии до 2–4 м.

В составе каждой из проб болотного газа, взятых в районе Шатурских болот, обнаружены азот, аргон, водород, метан, этан, фосфин, дифосфин, сероводород и диоксид углерода (рис. 3, 4). Возможность возникновения естественного возгорания связана с наличием в смеси метана (18,35%), фосфина (1,12%) и дифосфина (0,09%), причем в жаркое летнее время в результате возрастания биохимической активности метаногенных бактерий содержание метана в болотном газе может достигать 22–23% и более [3].

В Шатурских болотах и торфяных озерах обитает большое количество рыбы (караси, бычки, окуни, щуки, карпы, сазаны), лягушки, тритоны, змеи, водяные крысы (ондатры), а также видовое разнообразие птиц (утки, цапли, поганки, выпи, кулики и др). Фосфор, содержащийся в костях животных, перерабатывается фосфиногенными бактериями в фосфин и дифосфин, который и является главным инициатором запуска мгновенной «цепной» реакции самовозгорания и, как следствие, возникновения естественных лесных пожаров. Горят при этом не только леса, но и торфяной слой болот. Пожар распространяется в глубь залегающих торфа, где он может гореть годами, и потушить его практически невозможно.

Второй отбор проб болотного газа мы провели на севере Московской области в Верхневолжской низменности, а именно: Московская область, Талдомский район, станция Талдом, деревня Кунилово, торфяные болота.

Шатурские болота относятся к низинному типу болот, хорошо обеспеченных водно-минеральным пополнением за счет рек (Поля, Бужа и др), выходящих ключей, грунтовых вод и крупных озер (Долгое, Муромское, Святое, Карасёво, Великое и др.). Мощность торфяного слоя Шатурской болотной системы достигает 6–8 м; многие годы в этом районе ведётся добыча торфа и ежегодно, с наступлением теплого сезона, Шатурский район страдает от многочисленных природных пожаров.

В Талдомском районе имеются те же пожароопасные проблемы, что и в Шатурском, хотя и в меньшей степени. Здесь также расположены достаточно обширные массивы торфяных болот, на которых ведутся торфоразработки. Торфяные болота Талдомского района, по аналогии с болотами Мещеры, относятся к низинному типу. Водно-минеральное пополнение торфяных болот Верхневолжской низменности осуществляется грунтовыми водами и реками (Волга, Хотча, Сестра, Дубна и др.).

Газохроматографический анализ исследуемого материала из болот Талдомского района (рис. 5, 6) показал, что состав газа идентичен взятому на Шатурских болотах, за исключением дифосфина. Поскольку флора и фауна болот и заболоченных озер Талдомского района такая же богатая, как и на востоке Московской области, и содержание фосфина в пробе составляет ~1,37 %, то отсутствие дифосфина в газовой пробе, взятой на том или ином участке болота, не означает, что его нет в данной болотной системе.

Третий отбор проб болотного газа был проведен на западе Московской области в Можайско-Загорском районе еловых лесов, расположенном на плато Клинско-Дмитровской гряды и Смоленско-Московской возвышенности (Московская область, Одинцовский район, станция Полушкино, село Полушкино, заболоченное торфяное озеро Полецкое).

Одинцовский район, находящийся на западе Московской области, располагается на Смоленско-Московской возвышенности. Болота и заболоченные почвы в этом районе встречаются редко и небольшими локальными массивами. Примером такого небольшого массива может служить торфяное озеро Полецкое с заболоченными берегами. Озеро Полецкое можно отнести к переходным болотам. Это овальное по форме заболоченное озеро ледникового происхождения, не связанное с другими подобными болотными образованиями. Водно-минеральным питанием это озеро обеспечивает река Нара и грунтовые воды, в которых присутствуют растворенные удобрения с полей. В Рузском районе

Московской области находятся еще два крупных торфяных озера – Тростенское, связанное с рекой Озерна, и Глубокое, питаемое рекой Малая Истра.

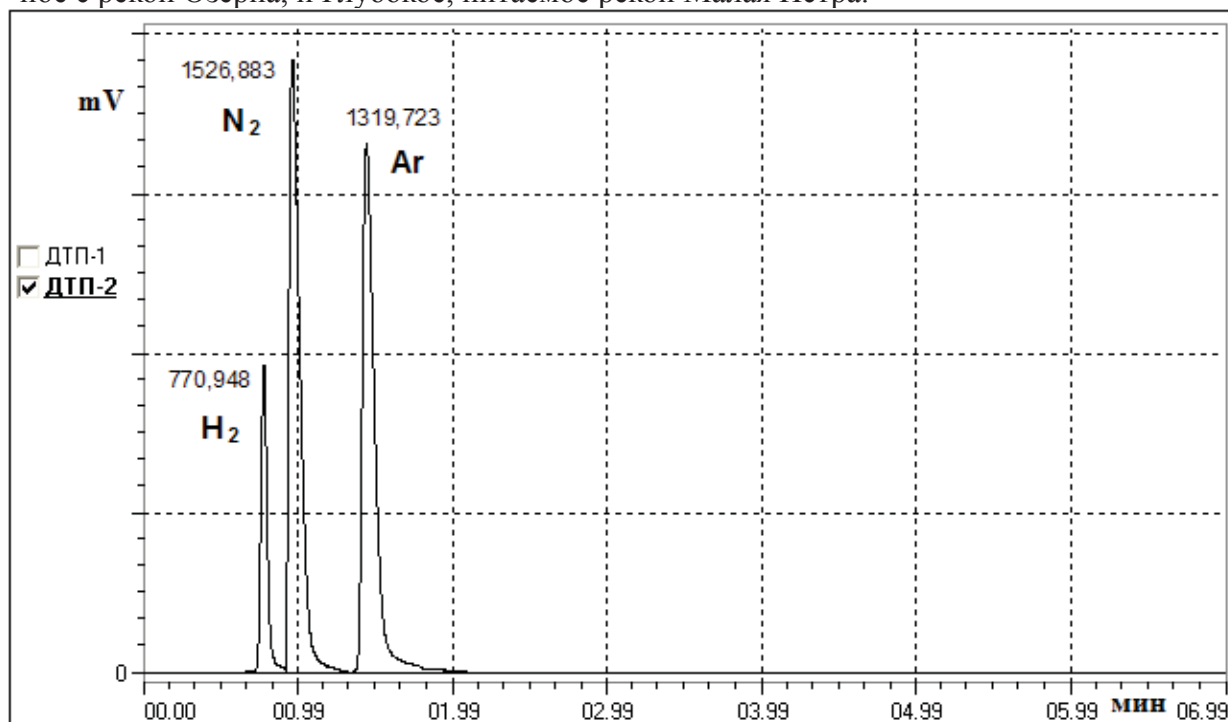


Рис. 3. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные вторым детектором (ДТП-2)

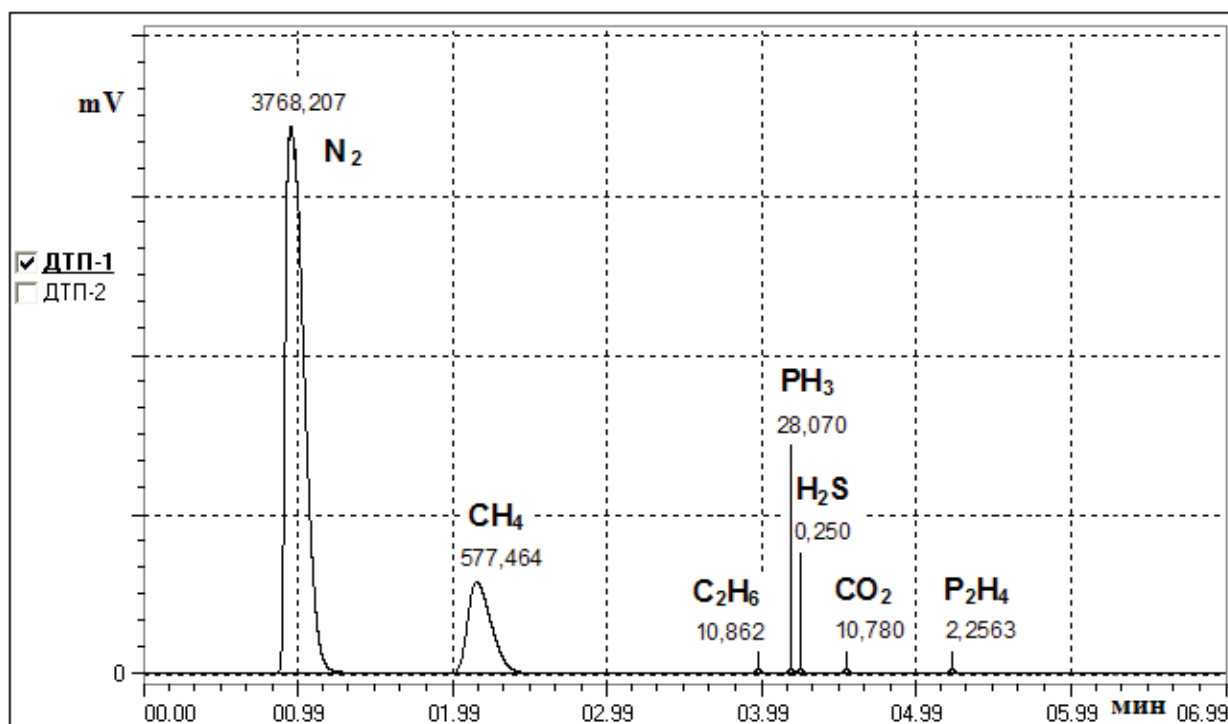


Рис. 4. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные первым детектором (ДТП-1)

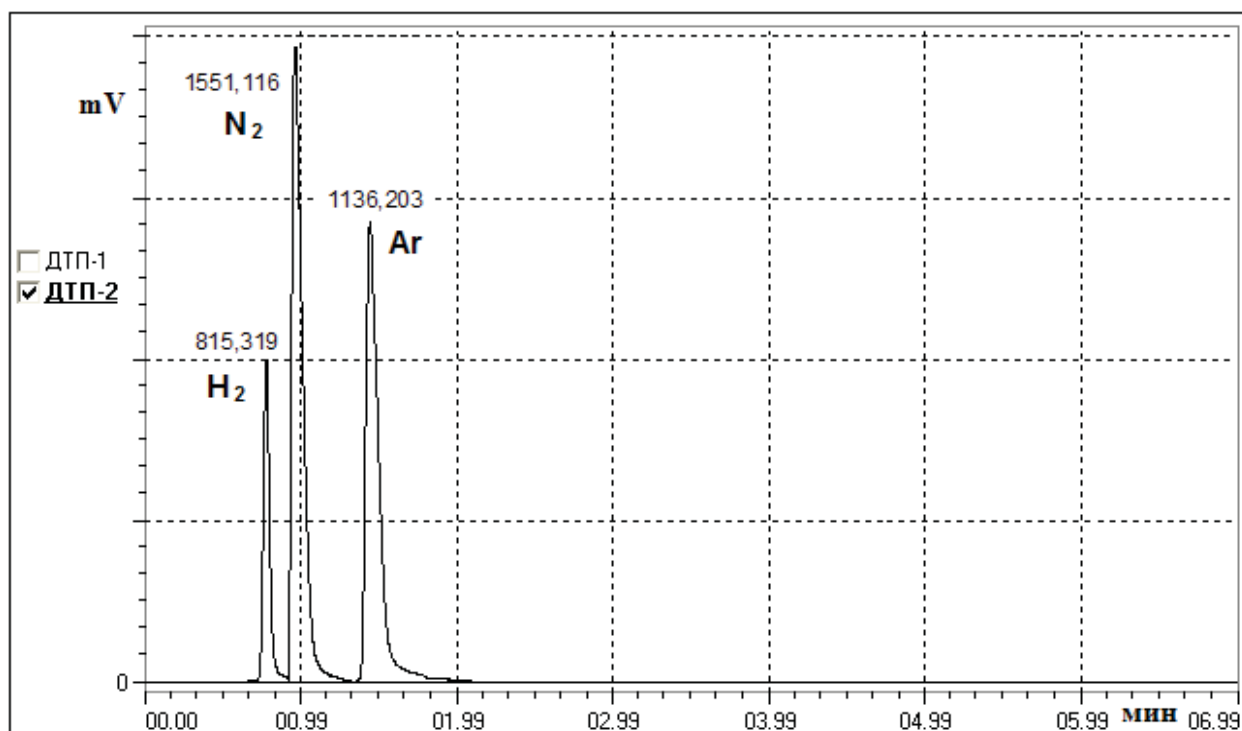


Рис. 5. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные вторым детектором (ДТП-2)

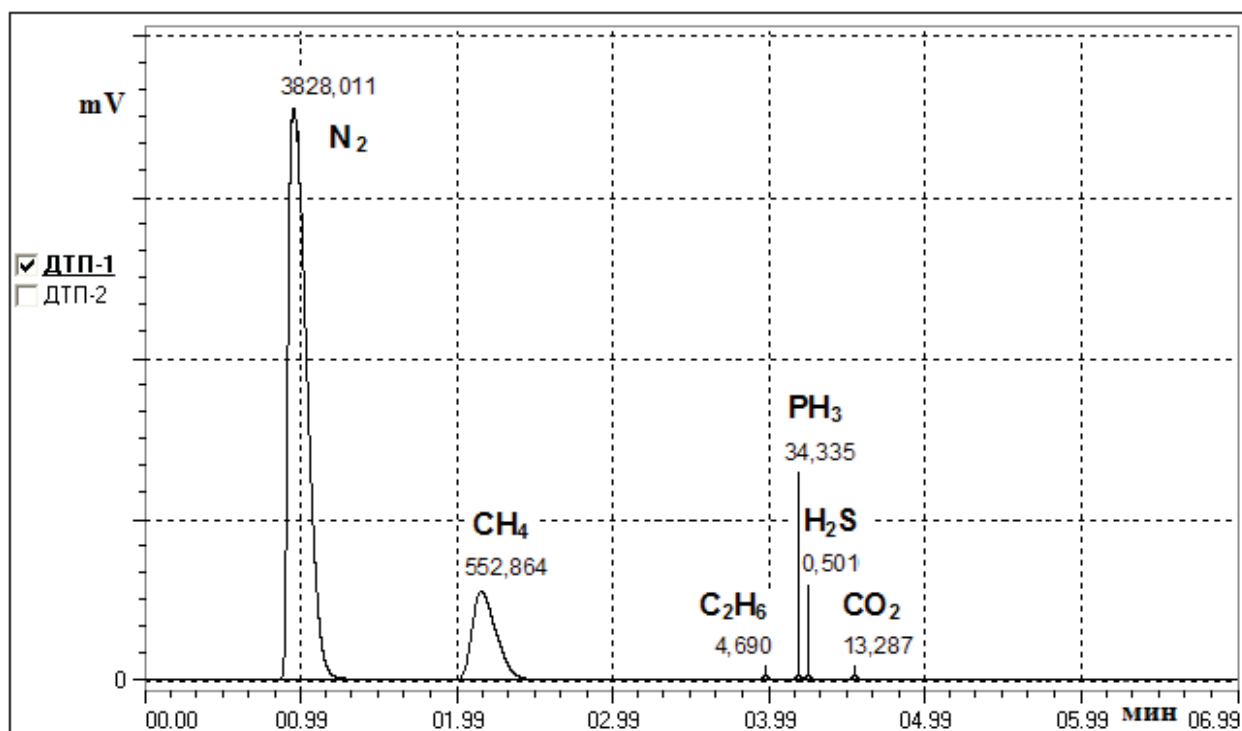


Рис. 6. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные первым детектором (ДТП-1)

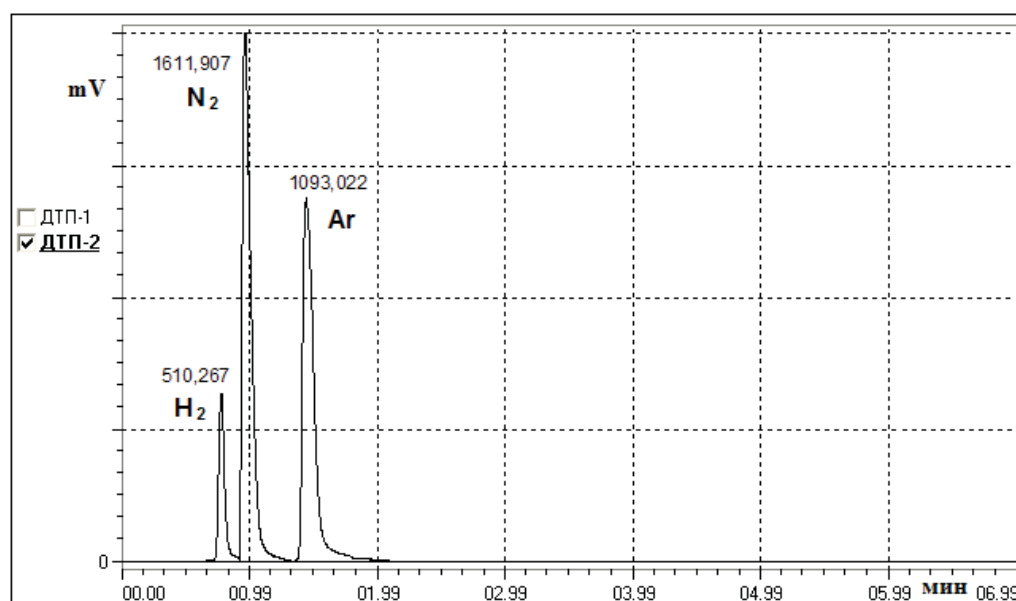


Рис. 7. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные вторым детектором (ДТП-2)

В западном направлении Московской области ситуация с возникновением естественных лесных и торфяных пожаров обстоит совсем не так, как в Шатурском и Талдомском районах. Главная причина этого заключается в том, что запад Московской области расположен на Смоленско-Московской возвышенности; здесь отсутствуют торфяные мощности низинных болот и поэтому невелик риск возникновения естественных лесных и болотных пожаров. Анализ болотного газа вблизи озера Полецкое (рис. 7, 8) выявил наличие газообразных компонентов анаэробного бактериального происхождения; содержание метана в пробе составляет 12,27%, а фосфина – 1,70%. Полецкое озеро древнее. Толщина торфяного слоя в нем может достигать нескольких метров и не уступать по толщине Шатурским и Талдомским торфяникам.

Однако доля выделяющегося метана на 5–6% ниже, чем на востоке и севере Московской области. Это может быть связано с тем, что Полецкое озеро окружено колхозными полями, азотные удобрения с которых с грунтовыми водами просачиваются в озеро. Нитраты и нитриты, попадающие в водоем, анаэробно окисляют выделяющийся метан (рис. 8), тем самым сокращая процент его выхода в атмосферу.

Поскольку заболоченные берега вблизи Полецкого озера и его торфяное дно хорошо пропитаны водой, вероятность образования естественного природного пожара здесь мала.

Четвертый отбор проб болотного газа был проведен на юге Московской области в Подольско-Коломенском (Центральном Приокском) районе широколиственных лесов – Московская область, Домодедовский район, станция Барыбино, лесное болото.

Болота и заболоченные почвы в этом районе встречаются достаточно редко. В основном это неглубокие и небольшие верховые болота, которые подпитываются только атмосферными осадками, и поэтому содержание минеральных веществ в них очень низкое. Толщина торфяного слоя в таких болотах не превышает 30–50 см, а глубина воды – до 1 м. Из-за крайне низкого содержания минеральных веществ и отсутствия кормовой базы в таких болотах очень мало обитателей – в основном насекомые и лягушки. В верховых болотах газы выделяются не так интенсивно, как в низинных и

переходных. А в зимний период и вообще не выделяются, поскольку эти болота полностью промерзают.

Как показали результаты проведенного газохроматографического анализа (рис. 10, 11), в составе газовой пробы из лесного болота обнаружены: азот (85,82%), аргон (1,29%), метан (7,24 %) и диоксид углерода (5,15%). Вероятность самовоспламенения такой смеси газов весьма мала.

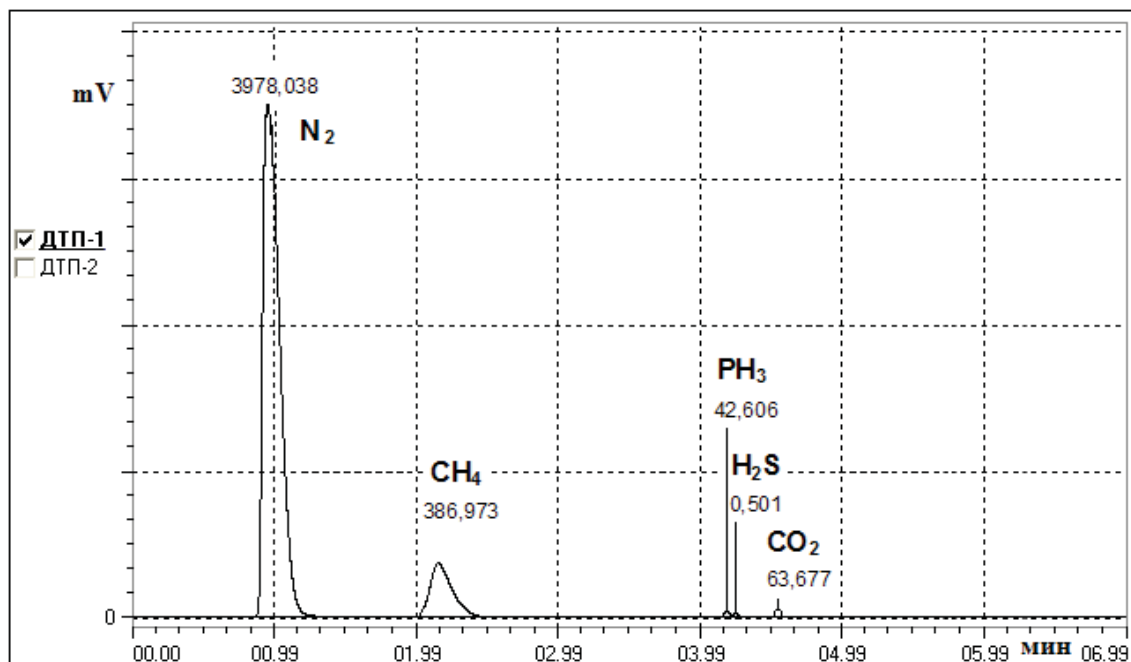


Рис. 8. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные первым детектором (ДТП-1)

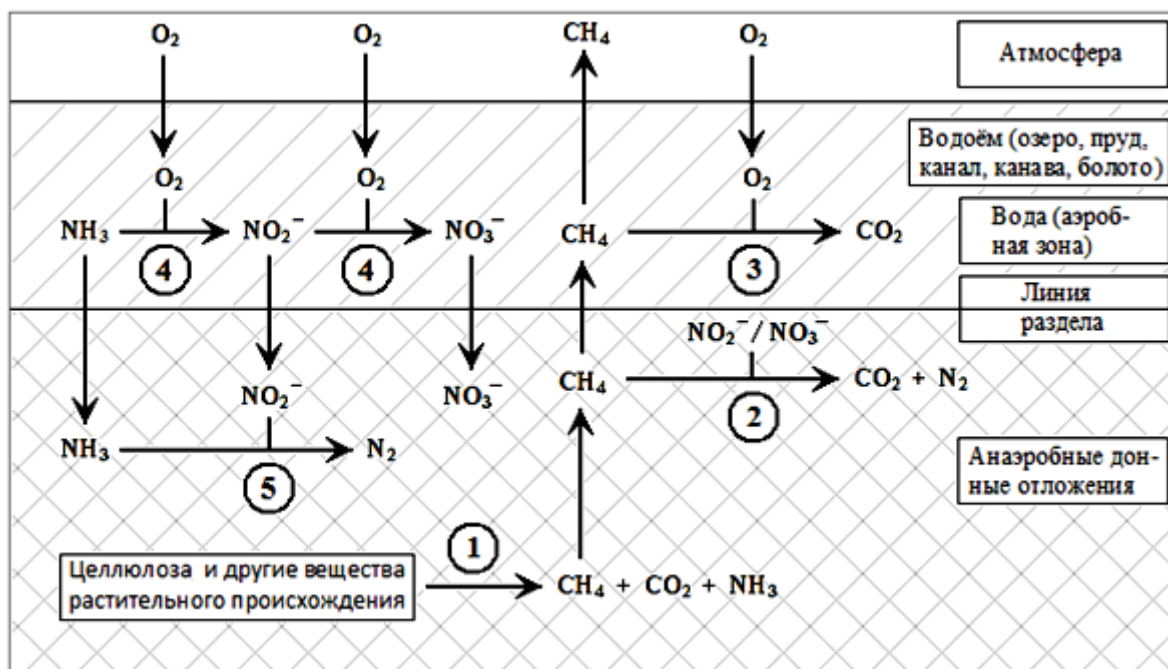


Рис. 9. Схема анаэробного и аэробного превращения целлюлозы, метана и соединений азота в загрязненном удобрениями водоеме.

Метан, образующийся на дне (1), частично окисляется анаэробно (2), взаимодействуя с нитритами и нитратами.
Часть метана проходит выше и окисляется аэробно (3).
В левой части рисунка показано образование нитритов и нитратов (4) и обычная денитрификация (5) [7]

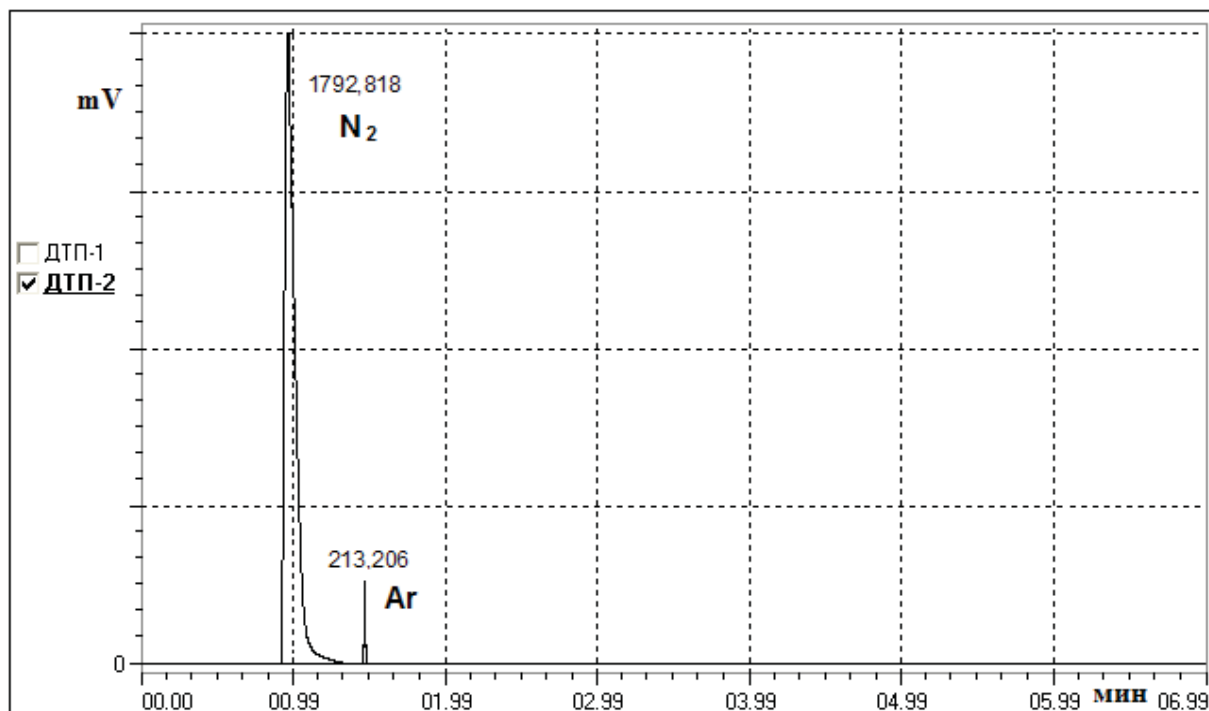


Рис. 10. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные вторым детектором (ДТП-2)

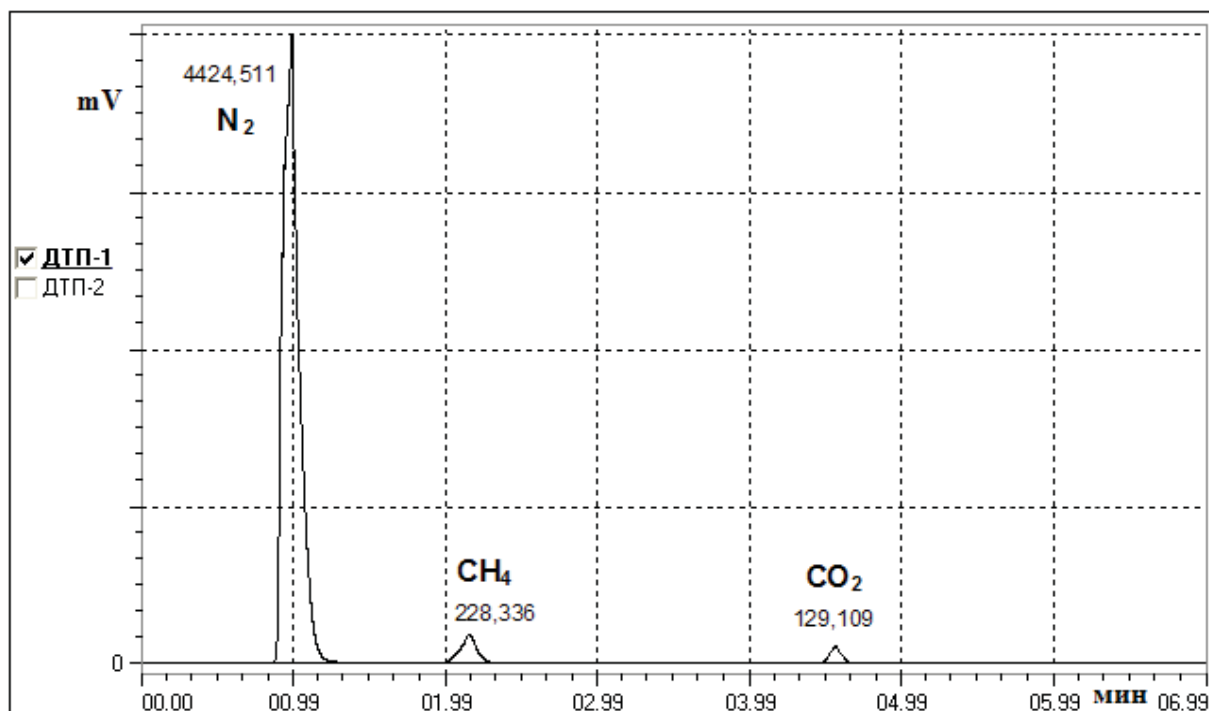


Рис. 11. Данные газохроматографического исследования болотного газа, полученные первым детектором (ДТП-1)

В табл. 2 и 3 представлены результаты мониторинга качественного и количественного состава болотных газов, проведенного в четырех районах Московской области.

Таблица 2

Процентный состав болотного газа для разных районов Московской области

№	Газ	Содержание газа в пробе, %			
		Восток	Север	Запад	Юг
1	H ₂	1,39	1,47	0,92	-
2	N ₂	73,09	74,25	77,16	85,82
3	Ar	4,89	4,21	4,05	1,29
4	CH ₄	18,31	17,53	12,27	7,24
5	C ₂ H ₆	0,44	0,19	-	-
6	PH ₃	1,12	1,37	1,70	-
7	H ₂ S	0,01	0,02	0,02	-
8	CO ₂	0,43	0,53	2,54	5,15
9	P ₂ H ₄	0,09	-	-	-

Таблица 3

**Объемный состав болотного газа (500 мкл пробы)
для разных районов Московской области**

№	Газ	Содержание газа в пробе, мкл			
		Восток	Север	Запад	Юг
1	H ₂	6,95	7,35	4,60	-
2	N ₂	365,45	371,25	385,80	429,10
3	Ar	24,45	21,05	20,25	6,45
4	CH ₄	91,55	87,65	61,35	36,20
5	C ₂ H ₆	2,20	0,95	-	-
6	PH ₃	5,60	6,85	8,50	-
7	H ₂ S	0,05	0,10	0,10	-
8	CO ₂	2,15	2,65	12,70	25,75
9	P ₂ H ₄	0,45	-	-	-

Количество метана определяется толщиной торфяного слоя болота, а также наличием соединений азота, поступающих в водоем. Наличие фосфина и дифосфина напрямую связано с поступлением фосфорных соединений, содержащихся в рыбах, земноводных, пресмыкающихся, птицах и животных, а присутствие в газовой пробе сероводорода может определяться как бактериальной деятельностью, так и наличием специфического подземного источника, питающего водой заболоченную экосистему.

Азот, аргон, метан и оксид углерода (IV) являются основой, «стандартным набором газов», образующихся в болотах всех типов, что говорит о единой природной системе биологического газообразования.

Существенному снижению пожароопасной ситуации на болотах способствует распространение мхов. Исследования ученых из университетов разных стран показали, что обитающие во мхах бактерии (*Methylocystis*, *Methylosinus*, *Methylomonas*, *Methylobacter* и *Methylomicrobium*) активно окисляют метан, существенно сокращая его эмиссию в атмосферу. Эти бактерии, накапливаясь в растениях, встраивают углерод в ткань мхов из перерабатываемого ими метана [6]. Такой процесс можно рассматривать в качестве еще одного из путей в борьбе за снижение пожароопасной ситуации на болотах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Илларионова Э.С. Осторожно – фосфин! // Экология и жизнь. 2008. № 6. С. – 44–47.
2. Коротеев М.П., Ульбаев Т.С., Базаева М.Г. Болотный газ как одна из причин природных пожаров // Экологические проблемы Московской области. Сб. науч. трудов МГОУ. – М.: МГОУ. 2011. – С. 72–75.
3. Синицин С.А., Гаврилов Ю.В., Королева Н.В. Переработка твердых природных энергоносителей // Учебное пособие под редакцией Дигурова Н.Г. – М.:РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. – С. 112–114.
4. Ульбаев Т.С., Базаева М.Г. Природный источник пожаров на болоте // Вестник МГОУ. – Серия: естественные науки. 2012. № 1. – С. 94–97.
5. Kristjansson J.K., P. Schönheit, R.K. Thauer. Different K_s values for hydrogen of methanogenic bacteria and sulfate reducing bacteria: An explanation for the apparent inhibition of methanogenesis by sulfate. // Archives of Microbiology. 1982. V. 131. № 3. – P. 278-282.
6. Nardy Kip, Julia F. van Winden, Yao Pan, LeventeBodrossy, Gert-Jan Reichart, Alfons J. P. Smolders, Mike S. M. Jetten, Jaap S. SinningheDamsté, Huub J. M. Op den Camp. Global prevalence of methane oxidation by symbiotic bacteria in peat-moss ecosystems.// Nature Geoscience. 2010. № 3. – P. 617-621.
7. Thauer P., Shima M. // Nature. 2006. V. 440. – P. 878-879.