

# ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

## CONDITIONS OF BIOGAS GENERATIONS IN GROUNDS OF CIVIL ENGINEERINGS WORKS

### БАБАЕВА М.В.

Инженер-эколог ООО «ПРОИНЖГРУПП», г. Москва, mashulya-bbv@yandex.ru

### ХАРЬКИНА М.А.

Старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва, kharkina@mail.ru

### СЕВЕРОВ М.П.

Студент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, nykler@mail.ru

### BABAeva M.V.

Environmental Engineer Ltd "Proengroup", Moscow, mashulya-bbv@yandex.ru

### KhARKINA M.A.

Senior Research Scientist of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, kharkina@mail.ru

### SEVEROV M.P.

Student of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, nykler@mail.ru

#### Ключевые слова:

газогенерация; техногенные грунты; природные грунты; биогаз; шпур; органическое вещество; газогеохимическая опасность.

#### Keywords:

gas generation; technogenic soil; natural soil; biogas; blast-holes; organic substance; gas geochemical hazard.

#### Аннотация

**Определены концентрации компонентов биогаза методом шпуровой съемки на четырех площадках гражданского строительства в Московском регионе. Установлена степень газогеохимической опасности газогенерирующих как природных, так и техногенных грунтов. Утверждается, что в отличие от стихийно отсыпанных техногенных грунтов неясного состава, планомерно отсыпанные в ходе рекультивации территории пески без примесей органического вещества являются газогеохимически инертными, неспособными генерировать биогаз.**

#### Abstract

**There were determined the concentrations of biogas components in the four areas of civil construction of the Moscow region. The degree of danger of gas generating geochemical both natural and man-made soil was determined also. Unlike the man-made spontaneously backfilled soil of unknown composition, gradually paved areas during reclamation sand without impurities of organic matter geochemical are inert, incapable to generate biogas.**

#### Введение

Образование биогаза в грунтах оснований жилых зданий и сооружений как несет угрозу для здоровья населения, так и приводит к пожаровзрывоопасности в подвальных помещениях. Биогаз обычно содержит метан, углекислый газ, газообразные соединения азота и примеси водорода, кислорода и сероводорода. Его образование в грунтах определяется как природными, так и техногенными факторами, а состав зависит от условий разложения органического вещества: в бескислородной (анаэробной) среде в восстановительных условиях и при повышенной влажности образуется преимущественно метан с концентрацией 50–70 об.% и углекислый газ (до 30–35 об.%), а в верхней части разреза в кислородосодержащей (аэробной) среде содержание метана уменьшается, часть его окисляется с выделением диоксида углерода [4].

Почвы являются природным источником биогаза. Основной объем углекислого газа (до 2/3 почвенного CO<sub>2</sub>) образуется за счет деятельности почвенных микроорганизмов — активных и универсальных гетеротрофов<sup>1</sup>, а существенно меньшая часть (1/3) образуется за счет деятельности корней растений. Суммарный вклад почвенных беспозвоночных не превышает 10% [6]. Незначительная часть CO<sub>2</sub> в почву поступает из грунтовых вод при их испарении, а также за счет разложения почвенных карбонатов. В целом до 90% образующегося в почве CO<sub>2</sub> путем диффузии

<sup>1</sup> Гетеротрофы — организмы, использующие для своего питания готовые органические вещества.

поступает в атмосферу, остальная часть поглощается почвой.

Метан ( $\text{CH}_4$ ) в почвах образуется при анаэробном разложении органического вещества, когда содержание кислорода опускается до десятых долей процента. Это происходит при высокой плотности и низкой пористости почв. В бескислородной среде бактерии образуют сложную трофическую систему, когда одни организмы используют продукты обмена других. При этом бактерии имеют узкую специализацию в отношении числа используемых веществ: одни виды бактерий продуцируют органические кислоты и водород, а другие восстанавливают их до метана [3]. Таким образом, на Земле работают мощные источники биогенного метана, суммарный поток которого составляет от 529 до 1225 Тг/год [11]. Поток эндогенного метана, связанного с глубинной дегазацией Земли и работой вулканов, оценивается величиной в 2–5 раз меньшей. Однако В.Л. Сывороткин указывает на резкое занижение этой величины и оценивает его в 4500 Тг/год [10].

Под влиянием техногенных факторов в городских почвах происходят существенные изменения всех групп почвенных организмов — бактерий, грибов, актиномицетов, водорослей, беспозвоночных и позвоночных животных. К числу общих закономерностей подобных изменений относятся сокращение общего биоразнообразия по отношению к фоновым почвам; изменение состава, численности и структуры макробиоты, мезобиоты и микробиоты; ослабление активности и продуктивной способности почвенных организмов; формирование специфических, индикаторных на разные типы урбаногенных нагрузок групп микроорганизмов, в том числе и патогенных, что, в свою очередь, ведет к активизации различных процессов, в том числе и к газогенерации [7].

*Техногенные грунты — поставщики биогаза.* Под техногенными грунтами понимают измененные или перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека естественные грунты, а также антропогенные образования. Техногенные грунты на городских территориях к настоящему времени приобрели практически сплошное площадное распространение. Наибольшие их мощности отмечаются в исторических центрах городов (до 8–12 м в районе Краснопресненской набережной в Москве, где они представлены культурным слоем), а также на участках засыпанных оврагов, долин малых рек и ручьев, болот, карьеров и т.п., где распространены строительные отвалы и свалки — перемещенные природные грунты, содержащие строительные, промышленные, а иногда и твердые бытовые отходы [9]. В захороненных органических отходах на полигонах и свалках твердых бытовых отходов, на полях фильтрации сточных вод в анаэробных условиях на глубинах более 0,7–1 м в значительных количествах образуется биогаз [8].

Существует несколько классификаций техногенных грунтов, разработанных в XX в. Ф.В. Котловым, А.П. Афониним, И.В. Дудлером, Р.С. Зянгириным, Ю.М. Лычко, Е.Н. Огородниковой и рядом других авторов. В настоящей работе использовалась генетическая типизация техногенных грунтов несанкционированных строительных отвалов и свалок, составленная

М.В. Викторовой [2], поскольку только она учитывает информацию о наличии биогаза.

Целью исследований является определение пожаровзрывоопасных концентраций компонентов биогаза природных и техногенных грунтов с учетом условий формирования массивов газогенерирующих грунтов.

Объектами исследований являются площадки гражданского строительства в Московском регионе.

### **Объекты исследований**

В качестве объектов исследований выбраны грунты четырех площадок гражданского строительства в Московском регионе, расположенные как на естественных, так и на техногенных, предположительно газогенерирующих, грунтах. Природные газогенерирующие грунты обнаружены только на площадке гражданского строительства в Мытищах. Это современные болотные отложения, имеющие локальное распространение в северо-западной части площадки и представленные торфами мощностью до 2,3 м. Остальную часть площадки в Мытищах слагают стихийно образованные техногенные грунты того же состава, что и на других площадках исследований (преимущественно тугопластичные суглинки с обломками кирпича и включениями строительного и бытового мусора).

Исследованные техногенные грунты имели разное происхождение, они были как планомерно, так и стихийно отсыпаны. Планомерно отсыпанные грунты имелись на территории двух объектов гражданского строительства: 1) на площадке внутригородского муниципального округа (ВМО) «Некрасовка» на месте Люберецких полей аэрации, где ранее были извлечены иловые отложения вместе с подстилающими породами и отсыпаны «чистые» строительные пески, прошедшие сертификацию; 2) на площадке в пос. Развилка (Ленинский район МО). Отличительной особенностью образования массива грунтов на площадке пос. Развилка является его расположение в пределах Курьяновской станции аэрации, работавшей в прошлом веке в течение почти 50 лет. Здесь техногенные грунты представляют собой искусственно созданные иловые карты глубиной около 13 м и разделяющие их менее заглубленные насыпные валы с бетонным покрытием. Среди техногенных грунтов четко выделяются две их разновидности: грунты чаш отстойников и грунты бортов этих чаш (валов), представляющие собой перемещенные подстилающие покровные и моренные грунты.

Геологические разрезы всех участков исследований изучены на глубину до 24–30 м. Характерной чертой геологических разрезов является то, что техногенные грунты подстилаются суглинками тугопластичными различного возраста и генезиса: на территории в г. Мытищи — верхнечетвертичными покровными отложениями, на территории в ВМО «Некрасовка» — средне-четвертичными аллювиально-флювиогляциальными отложениями, на ул. Годовикова — московской морены, а на объекте «Развилка» — средне-нижнечетвертичными ледниковыми отложениями. Важно то, что суглинки характеризуются весьма слабой водо- и воздухопроницаемостью (табл. 1), зависящей от степени их трещиноватости и, по сути, являются природными экранами при распространении биогаза вниз по разрезу.

Таблица 1

Характеристика природных грунтов, подстилающих газогенерирующие грунты на объектах гражданского строительства в Московском регионе					
Характеристики грунтов, подстилающих газогенерирующие	Объекты исследований				
	ул. Колпакова, г. Мытищи	ВМО «Некрасовка» (Люберецкие поля аэрации), г. Москва	ул. Годовикова, г. Москва	пос. Развилка МО	
				борта чаш отстойников	отстойники
Возраст	позднечетвертичный	верхнесредне-четвертичный	среднечетвертичные	верхнечетвертичный	нижнечетвертичный
Состав	суглинки тугопластичные	суглинки тугопластичные	суглинки полутвердые	глины тугопластичные	суглинки полутвердые
Мощность, м	0,6–2,9	16	до 2,7	4,5	12,7
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,94	1,85	1,97	1,65	1,75
Пористость, %	70	67	69	30	20
Водопроницаемость (по Н.Н. Маслову)	весьма слабоводопроницаемые	весьма слабоводопроницаемые	весьма слабоводопроницаемые	практически водонепроницаемые	весьма слабоводопроницаемые

Таблица 2

Характеристика газогенерирующих грунтов на объектах гражданского строительства в Московском регионе						
Показатели характеристик газогенерирующих грунтов	Объекты исследований					
	ул. Колпакова, г. Мытищи		ВМО «Некрасовка» (Люберецкие поля аэрации), г. Москва	ул. Годовикова, г. Москва	пос. Развилка	
	техногенные грунты	естественные грунты			борта чаш отстойников	осадки отстойников
Генезис образования	стихийно образованные	естественно образованные	планомерно отсыпанные	стихийно образованные	планомерно отсыпанные	стихийно образованные
Возраст, лет	25	11000	3	15	65	15
Мощность, м	1,1–2,8	2,0–2,3	2,9–3,8	4,0–8,1	7,6	14,9
Содержание органического вещества*, C <sub>орг</sub> , %	0,2–8,9	2,9–3,1	0,1–0,2	0,9–3,9	0,8–1,6	8,3–9,8
Состав	суглинки с обломками кирпича, включением строительного и бытового мусора	торф	песок средней крупности, плотный	асфальтобетон, суглинки, пески, куски кирпича и бетона, металл, древесина, стекло, бытовые отходы	песок, суглинок мягко-тугопластичный, полутвердый	иловые осадки сточных вод
Условия распространения на территории	локально в северо-восточной части	локально в северо-западной части	повсеместно	повсеместно	в виде бортов чаш отстойников	заполнитель чаш отстойников
Условия разложения органического вещества	анаэробные					
Наличие природных непроницаемых экранов	Выше по разрезу		отсутствуют			
	Ниже по разрезу	слабопроницаемые суглинки тугопластичной консистенции	слабопроницаемые суглинки тугопластичной консистенции	слабопроницаемые суглинки полутвердой консистенции	слабопроницаемые глины тугопластичной консистенции	слабопроницаемые суглинки полутвердой консистенции
		четвертичный безнапорный водонапорный горизонт на глубине 2,2–4,5 м	четвертично-верхнеюрский водонапорный горизонт на глубине 3,6–4,0 м	техногенный безнапорный водонапорный горизонт на глубине 1,0–4,1 м	четвертичный безнапорный водонапорный горизонт на глубине 5,0–6,0 м	

\* Содержание органического вещества определено титриметрическим вариантом метода И.В. Тюрина.

При бурении на всех участках исследований на различной глубине ниже массивов газогенерирующих грунтов вскрыты водоносные горизонты, причем первые от поверхности безнапорные воды обнаружены примерно на одной и той же глубине (до 4 м). Наличие водоносного горизонта, вскрытого близко к поверхности, обеспечивает частичное растворение биогаза в воде, а также является дополнительным экраном на пути миграции компонента биогаза (CO<sub>2</sub>) вниз по разрезу в подстилающие породы.

Генезис, возраст, состав, свойства и условия распространения газогенерирующих грунтов на площадках гражданского строительства, а также информация о наличии слабопроницаемых экранов и об условиях разложения органического вещества представлены в табл. 2.

### Методика исследований

Исследования выполнялись методом шпуровой газогеохимической съемки и проводились в соответствие с требованиями СП 47.13330.2012 и СП 11-102-97 с применением газоанализатора Ecorprobe 5 чешской фирмы RS Dynamics Ltd. Точки отбора проб располагались по сети с заданным шагом (25–30 м). Шпуровое опробование выполнялось следующим образом. Ручным буром в грунте делалось отверстие диаметром 25 мм на глубину 70–80 см, затем бур вынимали и оперативно в него вставлялся зонд. Зонд представлял собой металлическую трубку с отверстием на конце, вставляемым в грунт, и резиновым шлангом на другом конце, соединяющим зонд с газоанализатором. Непосредственно на зонде имелась резиновая заглушка, которая изолировала почвенный воздух от атмосферного во время анализа.

Прибор Ecorprobe 5 включает в себя два анализатора для газа — фотоионизационный анализатор (ФИД) и инфракрасный анализатор (ИК). Непосредственно для определения компонентов биогаза (метан, диоксид углерода и т.д.) используется ИК-анализатор.

Диапазон измерений ИК-анализатора 0–500 000 ppm, при этом нижний предел чувствительности составляет 50 ppm.

Инфракрасное (ИК) излучение представляет собой, по существу, тепловое излучение. Большинство газов обладают характеристическим спектром в инфракрасном диапазоне; два молекулярных газа не могут иметь одинаковые инфракрасные спектры. Инфракрасный спектр — это «отпечаток пальца» газа, и он позволяет производить однозначную идентификацию газа. Пропуская пучок инфракрасного излучения через воздух или через любой определенный объем газа и регистрируя количество прошедшего излучения по выбранным спектральным линиям, определяют состав присутствующих газов и их концентрацию.

Стандартных методик по проведению газогеохимических исследований не существует [1]. Авторами для исследований техногенных грунтов был выбран метод шпуровой газогеохимической съемки, который позволяет выявлять и картировать по площади биогазовые аномалии на срезе глубин 70–80 см [3]. Шпуры диаметром  $\varnothing$ 25 мм глубиной 0,8 м бурились ручным буром STIHL BT121 с шагом 25–30 м, отбор почвенного воздуха из шпура осуществлялся посредством

встроенного компрессора и ручной помпы с использованием штанги. Зондирование на глубину 70–80 см позволяет достоверно зафиксировать потоки биогаза, поступающего из более погруженных горизонтов, то есть определить объемное содержание компонентов биогаза в аэробной зоне.

Данный метод был выбран в связи с тем, что в разрезе техногенных газогенерирующих грунтов над очагами газогенерации формируется определенная вертикальная геохимическая зональность, отражающая характер протекающих процессов.

Исследования, проведенные Д.В. Ивановым на различных объектах, выявили, что анаэробные условия обычно устанавливаются уже на глубинах около 70–80 см и концентрация метана практически стабилизируется (рис. 1). При приближении к дневной поверхности в грунтах появляется молекулярный кислород, который активизирует микробиологические процессы окисления метана. Наиболее активно окисление происходит на глубине 40–60 см, а в интервале глубин 20–40 см метан практически полностью потребляется метанотрофными бактериями [4].

Из этого следует, что зондирование на глубину 70–80 см позволяет достоверно зафиксировать потоки биогаза, поступающего из более погруженных горизонтов. Зондирование на глубины менее 70–80 см не столь эффективно, так как вследствие окисления метана снижается порог чувствительности выявления потоков биогаза.

Газогеохимические аномалии, генетически и пространственно связанные с газогенерирующими грунтами, выделяют при содержании в насыпных грунтах CH<sub>4</sub> > 0,01 об.% и CO<sub>2</sub> > 0,2–0,3 об.% [5].

### Результаты и их обсуждение

#### Концентрация компонентов биогаза

Грунты на всех площадках исследований за исключением планомерно отсыпанных «чистых» песков на площадках ВМО «Некрасовка» генерировали биогаз. Содержание компонентов биогаза в грунтах рассматриваемых объектов представлено в табл. 3.

Установлена прямая пропорциональная зависимость между концентрацией компонентов биогаза: метана и двуокиси углерода (рис. 2).

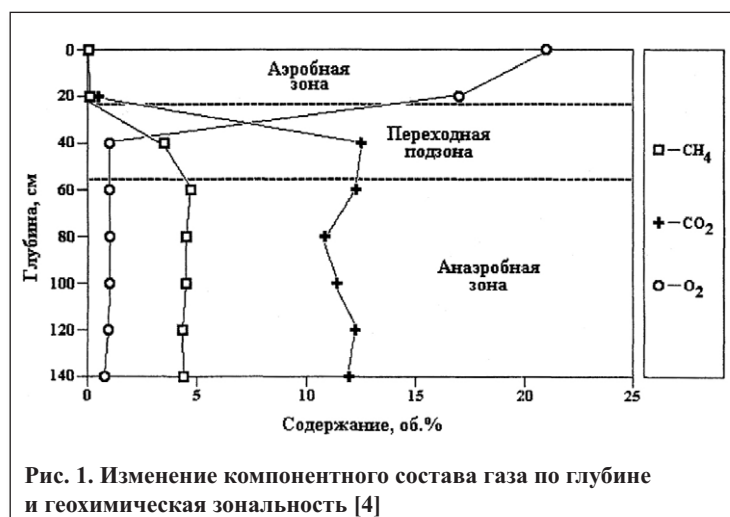


Рис. 1. Изменение компонентного состава газа по глубине и геохимическая зональность [4]

Таблица 3

Результаты газогеохимических исследований грунтов на объектах гражданского строительства в Московском регионе						
Показатели характеристик газогенерирующих грунтов	Площадки гражданского строительства					
	ул. Колпакова, г. Мытищи		ВМО «Некрасовка» (Люберецкие поля аэрации), г. Москва	ул. Годовикова, г. Москва	пос. Развилка МО	
	техногенные грунты	естественные грунты			борта чаш отстойников	осадки отстойников
Площадь исследований, Га	1,6		1,2	1,0	28	
Количество шпуров	20		19	19	9	8
Содержание CH <sub>4</sub> , об. %	0,02–4,9	2,9–3,1	<0,01	0,02–3,9	0,15–0,49	4,63–5,36
Содержание CO <sub>2</sub> , об. %	0,9–5,1	3,8–4,7	0,13–0,39	0,7–4,5	0,21–0,29	2,45–4,43
Коэффициент корреляции CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>	0,79		нет	0,83	0,73	

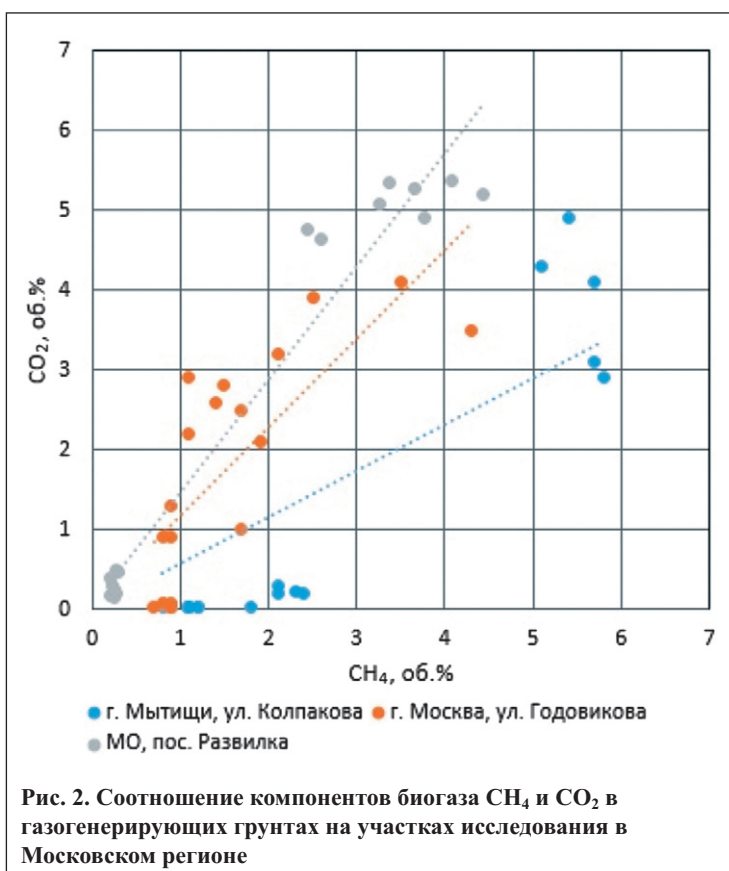


Рис. 2. Соотношение компонентов биогаза CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> в газогенерирующих грунтах на участках исследования в Московском регионе

В техногенных грунтах ВМО «Некрасовка», образованных из планомерно отсыпанного в ходе рекультивации территории песка с низким содержанием органического вещества (0,1–0,2 об.%, табл. 2), объемные концентрации метана (<0,01 об.%) ниже предела обнаружения прибора Escorprobe 5. На этой промпло-

щадке техногенные грунты являются газогеохимически инертными, неспособными генерировать биогаз.

**Критерии оценки газогеохимического состояния грунтов**

Газогеохимическое состояние грунтов оценивается по содержанию основных компонентов биогаза в грунтовом воздухе — по метану и диоксиду углерода. Критерии оценки степени газогеохимической опасности грунтов основаны на их пожаро- и взрывоопасности, токсичных свойствах и приведены в классификации грунтов по степени газогеохимической опасности. На данный момент существует только классификация, приведенная в СП 47.13330.2012. Газогеохимические аномалии, генетически и пространственно связанные с газогенерирующими грунтами, выделяются при содержании в исследуемых грунтах метана более 0,1 об.% и диоксида углерода более 1,0 об.% (табл. 4).

**Газогеохимическая опасность исследуемых грунтов**

На площадках гражданского строительства в г. Мытищи, ул. Годовикова (г. Москва) и пос. Развилка (МО) по содержанию компонентов биогаза грунты территории обладают относительно высоким потенциалом газогенерации. На отдельных участках по степени газогеохимической опасности грунты являются опасными по содержанию метана, в нескольких точках опробования значения приближаются к границе значений пожаровзрывоопасных концентраций (>5,0 об.%). Взрывоопасный диапазон концентраций метана лежит в интервале 5–14% от объема воздуха.

**Заключение**

Геологические разрезы на изученных объектах гражданского строительства в Московском регионе до глубины 24–30 м характеризуются наличием в нижней части слабопроницаемых природных экранов, представленных суглинками тугопластичными разного возраста и генезиса, а также выдержанными водоносными горизонтами, препятствующих распространению биогаза в нижележащие толщи и его концентрации непосредственно в верхней части разреза, что позволяет реально оценить газогенерирующую способность грунтов.


Газогенерация на всех площадках гражданского строительства связана с анаэробными условиями раз-

Таблица 4

Критерии оценки степени газогеохимической опасности грунтов (по СП 47.13330.2012)		
Степень газогеохимической опасности грунтов	Объемная доля компонента, об. %	
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
Безопасные	0,01–0,1	1,0–5,0
Потенциально опасные	0,1–1,0	1,0–5,0
Опасные	>1,0	>5,0
Пожаровзрывоопасные	>5,0	n-10

ложения органического вещества как в техногенных, так и в природных грунтах. Газогенерация в опасных концентрациях в техногенных грунтах в верхней части разреза отмечается на площадках гражданского строительства на ул. Годовикова (г. Москва) и пос. Развилка (МО), а на площадке в г. Мытищи она связана как со стихийно образованными техногенными грунтами, так и с природными торфяниками.

Выявлены прямые корреляционные зависимости между компонентами биогаза ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ).

Техногенные грунты на объекте гражданского строительства г. Москва ВМО «Некрасовка» являются газогеохимически инертными, неспособными генерировать биогаз, что объясняется их однородным составом (пески) и низким содержанием органического вещества. 

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакин В.А., Труфманова Е.П., Нагорная М.А. Теория и практика газогеохимических исследований для разработки нормативной документации // Сергеевские чтения. Вып. 12. Материалы годичной сессии РАН. М.: ГЕОС, 2010. С. 241–245.
2. Викторова М. А. Грунты несанкционированных строительных отвалов и свалок (на примере территории г. Москвы): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2007. 24 с.
3. Заварзин Г.А., Кларк У. Биосфера и климат глазами биологов // Природа. 1987. № 6. С. 65-72.
4. Иванов Д.В. Биогеохимическое образование и окисление биогаза в техногенных грунтах по данным изотопно-химических исследований: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1998. 26 с.
5. Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве. М.: ГУП «НИАЦ», 2004. 106 с.
6. Кленов Б.М. Экология почв: учебное пособие для студентов-геоэкологов. Новосибирск: СГГА, 2001. 83 с.
7. Климентьев А.И., Ложкин И.В., Трубин А.П. Геоэкологическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий (на примере г. Оренбурга). Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 182 с.
8. Лебедев В.С., Балакин В.А. Геоэкологическое обоснование безопасности застройки территории распространения газогенерирующих техногенных грунтов // Сергеевские чтения. Вып. 8. Материалы годичной сессии РАН. М.: ГЕОС, 2006. С. 176–179.
9. Николаева С.К., Викторова М.А., Трушина Д.Ю. Опыт оценки загрязнения насыпных грунтов городских территорий по данным инженерно-экологических изысканий // Геоэкология. 2006. № 4. С. 328–336.
10. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геонформцентр», 2002. 250 с.
11. Ehhalt D.H. The atmospheric cycle of methane // Tellus. 1974. Vol. 26. P. 58 070.

Журнал «Инженерные изыскания» —  
лучшая площадка для вашей рекламы!



www.geomark.ru