

## МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 631.412

Р.Г. Ковач<sup>1</sup>, А.Н. Геннадиев<sup>2</sup>, Ю.И. Пиковский<sup>3</sup>, А.Д. Белик<sup>4</sup>

## ДИНАМИКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ПОЧВАХ: НОВЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ И ИНДИКАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Изучено профилное распределение и сезонная динамика концентрации углеводородных газов (метана, этилена, пропана, н-бутана, этана) в удерживаемом почвенном воздухе в пределах территории Истринского морфоструктурного узла и вне территории геодинамической активности. Показано, что по характеристикам углеводородно-газового профиля почвы внутри узла в условиях предположительно существующего подтока углеводородов из нижележащих геологических толщ отличаются от почв за пределами узла. Сделан вывод о возможности диагностирования эманационного и биогеохимического углеводородных состояний почв на основе характеристик динамики их газового профиля.

*Ключевые слова:* углеводородные газы в почвах, углеводородное состояние почв, геодинамическая активность, сезонная динамика почв.

**Введение.** Газообразные углеводороды являются неотъемлемой и наиболее динамичной частью углеводородного комплекса почв. Они постоянно присутствуют в почвенной толще, при этом их состав и концентрация быстро реагируют на практически любые изменения внешних факторов почвообразования и внутрипочвенной обстановки. В связи с этим безусловный интерес представляет анализ информационного потенциала динамики углеводородных газов в почвах, выявление тех ее особенностей, которые наиболее адекватно отражают смены состояний целостной системы «почвы–факторы почвообразования». Изучение углеводородных газов (УВГ) в почвах и грунтах ведется специалистами разных наук, поэтому существующая информация об их содержании и поведении разнородна и не систематизирована. Весь объем накопленных данных можно условно разделить на четыре группы работ, речь в которых идет: а) об эмиссии метана из почвы и его динамике как парникового газа; б) об УВГ как продуктах жизнедеятельности или источнике питания и энергии для микробиоты; в) об УВГ в связи с поисками признаков ореолов рассеяния над залежами углеводородов в земной коре; г) о выделении газов, в частности этилена, корневой системой высших растений.

В работах указанных направлений по ряду вопросов содержится весьма детальная и обширная информация, но они, тем не менее, не в полной мере характеризуют различные аспекты нахождения основных УВГ в почвах, в том числе их динамику. Так,

многочисленные работы по изучению парниковой роли метана в большинстве случаев рассматривают его выделение с поверхности почвы, оставляя не достаточно изученными особенности поведения этого газа внутри почв [Глаголев, 2012; Новиков, 2004; Орлов, 1998 и др.]. Микробиологи в силу специфичности своих задач и объектов ориентированы, в основном, на изучение собственно сообществ микробиоты, а не на почвенные процессы. Они чаще работают не с реальными почвами в поле, а с почвенными микроорганизмами в лабораторных условиях [Методы ..., 1991]. При разработке методов поисков газовых аномалий над залежами углеводородов мало внимания обращается на внутрипочвенные процессы, а акцент делается, главным образом, на эмиссии газообразных углеводородов из нижележащих слоев литосферы [Матвеев, 2003; Соколов, 1947]. В ботанических исследованиях, которые отличаются повышенным вниманием к этилену как к биогенному УВ газу, собственно педогенный этилен попадает в поле зрения специалистов довольно редко [Arshad, 2012]. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что подавляющее большинство существующих исследований касаются только УВ газов, свободно мигрирующих в почвенной толще. Удерживаемые почвой газы (сорбированные, заземленные) часто остаются вне поля внимания исследователей, хотя имеются сведения о том, что газообразные УВ, удерживаемые внутри почвенных агрегатов, значительно отличаются по составу от УВГ, находящихся в свободном состоянии в почвах [Степанов, Ма-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с.; *e-mail:* rkovach@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail:* alexagenna@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, вед. науч. с., докт. геогр. н.; *e-mail:* lumlab@yandex.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, техник, *e-mail:* lumlab@yandex.ru

нучарова, 2006]. В целом приходится констатировать, что существуют лишь единичные работы, в которых УВГ в почвенном воздухе изучаются в комплексном плане – с рассмотрением их профильного распределения и динамики, с учетом более широкого спектра факторов их поведения внутри почвы, а также с характеристикой не только свободного, но и внутриспорового или внутриагрегатного почвенного воздуха [Безбородов с соавт., 2008; Орлов с соавт., 1987; Смагин, 2006; Степанов, 2006; Arshad et al., 2012]. Вследствие этого на данный момент имеется явный дефицит информации о динамическом состоянии удерживаемого почвой комплекса УВГ в различных генетических типах почв, о приуроченности этих газов к почвенным горизонтам, их формах и происхождении в почвах.

В этой связи целью данной работы являлся анализ сезонной динамики содержания таких УВГ, как метан ( $\text{CH}_4$ ), этилен ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), н-бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), удерживаемых в почвах, в условиях воздействия на них преимущественно природных факторов. При этом предполагалось учесть не только изменение условий в почвах в разные сезоны года, но и такой природный фактор, как геодинамическую активность, от которой зависит глубина и интенсивность циркуляции кислорода и вероятность подтока газообразных УВ из нижележащих слоев литосферы.

**Материал и методы исследований.** Сезонные наблюдения за динамикой углеводородных газов проводились на двух ключевых участках в Московской области: в районе г. Истра, на территории геодинамически подвижного Истринского морфоструктурного узла (участок «Истринский»), и в районе г. Звенигород, в пределах стабильного морфоструктурного блока (участок «Звенигородский»).

Истринский морфоструктурный узел на карте морфоструктурного районирования Восточно-Европейской равнины находится в зоне схождения границ четырех морфоструктурных блоков разного порядка. Границы таких блоков обычно диагностируются по геоморфологическим признакам и чаще всего совпадают с речными долинами. В данном случае это реки Истра, Малая Истра, Маглуша и Песочная. Кроме относительно контрастного рельефа, зоны морфоструктурных узлов характеризуются большей геодинамической активностью, проявляющейся в мелких подвижках земной коры [Гласко с соавт., 1988; Ранцман с соавт., 1995]. Участок «Истринский» расположен в долине р. Истра, в наиболее активной части Истринского морфоструктурного узла на морфоструктурном линейном элементе – границе блоков первого ранга. Согласно нашим исследованиям [Пиковский с соавт., 2017], в аллювиальных почвах этого участка отмечалась максимальная концентрация удерживаемых углеводородных газов.

На территории Истринского узла и его окружения развиты четвертичные отложения, перекрывающие терригенные породы среднеюрского возраста. Почвообразующими породами являются покров-

ные суглинки мощностью 2,5–5 м, развитые повсеместно от водораздельных поверхностей до высоких террас речных долин. Основной тип почв территории узла – дерново-среднеподзолистые (серо-гумусовые) среднесуглинистые, иногда слабо-глеуватые и глеевые [Ранцман, 2004].

Участок «Звенигородский» приурочен к более спокойной геодинамической зоне внутри морфоструктурного блока в 24 км к югу от Истринского узла на территории Звенигородской биостанции МГУ. Территория участка характеризуется более пестрым составом почвообразующих пород, которые в автономных позициях представлены флювиогляциальными отложениями. На этих отложениях также развиты преимущественно дерново-подзолистые почвы, часто характеризующиеся признаками гидроморфизма в нижних горизонтах вследствие наличия водупорных экранов в виде суглинистых прослоев [Руконводство ..., 2004].

Пробы для изучения динамики содержания УВГ отбирались из почв автономных водораздельных позиций по фенологическим сезонам года: март 2016 г. (перелом зимы); май–июнь 2016 г. (предлетье); октябрь 2016 г. («золотая» осень); февраль 2017 г. (коренная зима); май 2017 г. (оживление весны); июль 2017 г. (полное лето). Опробование производилось по трем точкам вертикального почвенного профиля (в гумусовом и переходном горизонтах, а также в почвообразующей породе); при этом соблюдалось условие трех повторностей – пробы брались с трех стенок почвенного разреза (основной и двух боковых).

После отбора проб разрез закрывался с максимально возможным сохранением последовательности почвенных горизонтов и с послойной умеренной утрамбовкой вынутого почвенного материала. В последующие сезоны разрез снова открывался, но лицевая стенка при этом каждый раз смещалась как минимум на 20–30 см, чтобы обеспечить отбор проб всех трех повторностей из ранее ненарушенного монолита. Пробы на анализ удерживаемых газов отбирались в стеклянные контейнеры, которые сразу герметизировались. Отобранные образцы почв дегазировались в стационарных условиях, при этом до этой процедуры они хранились охлажденными до порядка +5 °С. Дегазация отобранных образцов проводилась на термовакuumном дегазаторе типа ГБЭ [Левит, 1974]. Извлеченный газ собирался в специальные склянки (типа СВТ) и хранился над затвором из насыщенного раствора NaCl при температуре порядка +5 °С. Анализ химического состава проб проводился на газовом хроматографе «Кристалл 5000.1».

**Результаты исследований и их обсуждение.** Средние из трехкратной повторности концентрации удерживаемых углеводородных газов в автономных почвах на исследованных участках по сезонам 2016–2017 гг. приведены в табл. 1 и 2.

Как видно, профильное распределения метана на участке «Звенигородский» практически во все сроки отбора довольно однородное, и метан присутствует по всему профилю. Уровни его содержания

Таблица 1

## Содержание исследованных углеводородных газов в почве участка «Звенигородский», ррмв

Горизонт	2016 г.			2017 г.		
	март	июнь	октябрь	февраль	апрель	июль
Метан						
A	23	18 483	27	4	7	4
B	39	466	18	5	4	3
C	42	32 840	16	4	5	5
Этилен						
A	1,3	2,5	24	1,5	18,7	7,3
B	0,6	1,3	0,2	0,2	0,8	0,5
C	0,1	1,4	0	–	0,1	0,1
Этан						
A	0,2	0,4	0,5	–	0,4	0,1
B	–	–	0	–	0	–
C	–	–	–	–	–	–
Пропан						
A	0,4	0,6	1,6	0,3	1,4	1,1
B	–	–	–	–	0,1	0,2
C	–	–	–	–	0,1	0,2
н-Бутан						
A	0,59	0,65	1,19	–	0,9	0,3
B	0,28	0,14	0	–	0,1	–
C	0,03	0,07	0,11	–	–	–

Примечание. Здесь и в табл. 2 прочерк означает, что газ не обнаружен.

составляют от 3 до 42 ррмв. При этом в 2016 г. наблюдается превышение концентрации метана в почве по сравнению с 2017 г. как минимум на один порядок. Исключением из общей картины является аномальный максимум концентрации метана, зафиксированный в июне 2016 г. (на 3 порядка больше, чем весной и осенью). В горизонте С она достигает 32 000 ррмв, в гумусовом горизонте – примерно в 2 раза меньше, а в средней части профиля падает до порядка 500 ррмв.

Максимальное содержание этилена на участке «Звенигородский» во все сезоны отчетливо приурочено к гумусовому горизонту. Наиболее высокие его концентрации наблюдались в октябре 2016 и апреле 2017 гг. (соответственно 24 и 19 ррмв). В нижних горизонтах концентрация этилена резко уменьшается, а в горизонте С осенью и зимой он не обнаруживается.

Этан и пропан в почвах участка «Звенигородский» встречаются в следовых количествах, всегда с максимумом в верхнем гумусовом горизонте, при этом наиболее высокие концентрации этих газов приурочены к осени 2016 г. и весне 2017 г.

Таблица 2

## Содержание исследованных углеводородных газов в почве участка «Истринский», ррмв

Горизонт	2016			2017	
	март	июнь	октябрь	февраль	апрель
Метан					
A	31	17	7	4	4
E	28,5	34	16	4	5
B	35	16	17	4	5
C	36	5	9	4	4
Этилен					
A	0,3	6,1	2,4	7,0	1,1
E	0,7	0,7	0,2	0,3	0,2
B	0,2	0,2	–	0,1	0,1
C	0,1	0,3	–	0,1	0,1
Этан					
A	–	0,2	–	0,1	–
E	–	–	–	1,4	–
B	–	–	–	1,9	–
C	–	–	–	1,3	–
Пропан					
A	–	0,3	0,1	0,4	0,1
E	–	–	–	6,0	–
B	–	–	–	8,8	–
C	–	–	–	6,3	–
н-Бутан					
A	–	0,3	–	0,2	–
E	0,1	0,1	–	1,2	–
B	–	0,1	–	1,5	–
C	0,2	–	–	1,2	–

Н-бутан ведет себя несколько иначе. В 2016 г. он обнаружен во все сроки отбора по всему профилю с явным максимумом в верхней части почвы. В 2017 г. н-бутан встречается только в верхних горизонтах в теплое время года.

Отсутствие четкой приуроченности максимумов содержания метана к какой-либо части почвенного профиля в большинстве сроков отбора, по-видимому, свидетельствует о его полигенетичности. Кроме педогенного метана в почвах может присутствовать метан иной природы, поступающий из подпочвенных горизонтов, но не связанный с глубинными процессами в зоне повышенной геодинамической активности.

Дать точную интерпретацию генезиса экстремального подъема концентрации метана летом 2016 г. пока проблематично. Можно отметить, что этот июньский максимум совпадает с периодом

повышенной активности почвенных метанопродукторов [Глаголев с соавт., 2012; Новиков с соавт., 2004; Bergman et al., 2000; Sorrell, Boon, 1992], а также обратить внимание на то, что в данном профиле нижний почвенный горизонт имеет признаки оглеения. Летом 2016 г. по визуальным наблюдениям насыщенность почвы влагой была значительно больше, чем в аналогичный период 2017 г. В совокупности с летними температурами это могло обусловить повышенное количество анаэробных микроорганизмов, в том числе метанотрофов [Moore, Dalva, 1997]. Ошибка при измерениях едва ли могла иметь место, поскольку аномальные концентрации газа были обнаружены в каждой из трех повторностей в каждом из трех горизонтов.

Основную часть этилена в почве участка «Звенигородский» можно связать с тем, что этот газ является гормоном широкого профиля у высших растений [Кулаева, 1998; Нелюбов, 1901; Arshad et al., 2012; Bakshi et al., 2015]. Максимумы содержания этилена весной и осенью можно объяснить тем, что активность бактерий, продуцирующих этилен, возрастает при повышенной влажности и при комфортной для них температуре [Arshad et al., 2012; Tang, Miller, 1993].

В те же периоды в гумусовом горизонте почв наблюдаются самые высокие значения содержания этана, пропана и бутана, что согласуется с имеющимся в литературе предположением о микробиотической природе этих газов [Орлов, 1987]. Эти максимумы коррелируют с высокими концентрациями этилена в эти сезоны.

На участке «Истринский» распределение метана по профилю в большую часть исследованных периодов года в целом довольно равномерное, хотя и с появлением локальных максимумов в средней части профиля в отдельные сроки отбора. Весной 2016 г. содержание метана в почвах в 4–6 раз больше, чем весной 2017 г. В летне-осенний период наблюдается общее уменьшение количества метана по сравнению с весной. Экстремальный максимум содержания метана, обнаруженный летом 2016 г. на участке «Звенигородский», на участке «Истринский» отсутствует. Без учета этой аномалии общий уровень содержания метана на обоих участках в каждый конкретный срок отбора довольно сходный, что позволяет предположить наличие наиболее общего фактора, оказывающего основное влияние на его распределение. Этим фактором является гидротермический режим почв.

Максимальное содержание этилена в почвах зоны геодинамической активности (участок «Истринский»), как и в почвах вне ее (участок «Звенигородский»), не приурочено к конкретному сезону. Однако существенным отличием почв участка «Истринский» является то, что уровень концентрации этилена в зимний период максимален, чего не наблюдается на участке «Звенигородский». Также можно отметить в целом меньший уровень содержания этилена в почвах зоны геодинамической активности по сравнению с почвами за ее пределами.

Распределение этилена в целом в почве на участке «Истринский», как и в почве участка «Звенигородский», носит выраженный поверхностно-аккумулятивный характер. Максимальное содержание этилена в гумусовом горизонте было отмечено в июне 2016 г. и в феврале 2017 г.

Этан и пропан в почве зоны геодинамической активности в большинстве случаев или отсутствуют, или встречаются в чрезвычайно малых количествах только летом в гумусированной части профиля. Исключением является февраль 2017 г., когда эти газы были обнаружены по всему почвенному профилю, достигали своих максимальных значений за весь период наблюдений, и их содержание увеличивалось в нижних горизонтах.

Как и все остальные тяжелые газы, н-бутан в почве на участке «Истринский» характеризуется более низким уровнем содержания, чем на участке «Звенигородский». При этом в холодное время года на участке «Истринский» н-бутан газ имеет явный глубинно-аккумулятивный профиль распределения, не наблюдаемый в почве участка «Звенигородский».

Как видно из полученных данных, уровень содержания УВГ на участке «Истринский» несколько ниже, чем на участке «Звенигородский» в каждый конкретный срок отбора. Однако при этом наблюдается явный максимум содержания в почве зоны геодинамической активности всех УВГ (кроме метана) в самый холодный из изученных периодов. По нашему мнению, этот факт не может быть объяснен исключительно микробиологическими причинами. Такая картина может быть дополнительным подтверждением относительной геодинамической активности участка «Истринский» и наличия в ее пределах углеводородных газовых эманаций. Высокое содержание газов в период минимальной активности микробиоты и ясно выраженный глубинно-аккумулятивный характер распределения большинства из них может являться следствием привноса этих газов из нижележащих толщ литосферы. Уменьшение содержания УВГ (кроме метана) в более теплое время может быть следствием как увеличения активности редуцирующей биоты, так и усилением газообмена между атмосферой и более сухой почвенной толщей.

Изученные УВГ по профильному и сезонному распределению делятся на несколько групп, что связано, предположительно, с различиями в преобладающих факторах присутствия данных газов в почве. Метан в почвах зоны геодинамической активности и вне ее предположительно имеет двойственную эманационно-биогеохимическую природу. Экстремальные пики, приуроченные к теплым периодам, свидетельствуют о его биогенности. В то же время его постоянное наличие в нижних горизонтах (в количестве, сопоставимом или превышающим таковое в верхних горизонтах) может говорить о привносе метана из глубин литосферы. Этилен намного больше тяготеет к теплым периодам и верхнему (корнеобитаемому слою) почвы, что указывает на его преимущественно автохтонную био-

геохимическую природу. Профиль распределения в почве н-бутана на различных участках имеет различный характер. На участке «Истринский» поведение н-бутана, вероятно, преимущественно аллохтонно-эманационное. На участке «Звенигородский» он ведет себя как автохтонный педогенный газ. Аналогичное распределение по сезонам и глубинам имеют этан и пропан.

#### Выводы:

– удерживаемые углеводородные газы не находятся в почве в постоянной концентрации, а имеют явную сезонную динамику. Природа этой динамики многофакторна и полигенетична. На участке «Звенигородский» приуроченность наиболее высоких концентраций удерживаемых газов к весенне-летним сезонам позволяет связывать газообразование в почве этой территории с высокой микробиологической активностью. С этим согласуется и часто наблюдающиеся максимальные концентрации газов в гумусовом горизонте;

– на участке «Истринский» зафиксирован отчетливый максимум содержания тяжелых УВ газов зимой 2017 г., когда активная микробиологическая деятельность заторможена, что говорит об аллохтонном происхождении этих газов. Относительное уменьшение их содержания в зонах высокой геодинамической активности в теплые периоды может

быть обусловлено усилением роли углеводородокисляющих микроорганизмов в связи с более интенсивной циркуляцией кислорода [Оборин с соавт., 2004];

– в изученных почвах встречаются не только метан, но и тяжелые газы-алканы. В настоящее время распространено мнение, что тяжелые УВГ встречаются лишь в почвах зон нефте- или газоносности;

– удерживаемые углеводородные газы имеют определенный индикационный потенциал как при изучении различных внутрпочвенных процессов, так и при исследовании влияния на почвы внешних факторов – в данном случае, пульсационной дегазации Земли. Исследованные газы обнаруживают как динамику состава и концентрации во времени, так и изменения своих параметров по всему почвенному профилю. Поэтому характеристика полного газового профиля почвы может обеспечить получение дополнительных данных о ее функционировании в целом;

– изучение УВГ профиля различных почв – перспективное направление географии почв, требующее дополнительного исследования и методических разработок. Необходимо напомнить, что представленный материал касался только почв автономных ландшафтно-геохимических позиций. Катенарный анализ почв поможет в дальнейшем дать более глубокую оценку поведения в почве удерживаемых газов.

**Благодарности.** Настоящая работа выполнена за счет средств РФФ, проект № 14-17-00193.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бажин Н.М.* Метан в окружающей среде. Аналитический обзор. Учреждение Рос. акад. наук Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния РАН. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. 2010. Сер. Экология. Вып. 93. 56 с.
- Безбородов Г.А., Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г.* Профильное распределение углекислого газа и метана в воздухе орошаемых сероземов // Почвоведение. 2008. № 1. С. 68–74.
- Глаголев М.В., Сабреков А.Ф., Клепцова И.Е., Филиппов И.В., Лапина Е.Д., Мачида Т., Максютов Ш.Ш.* Эмиссия метана из болот подтайги Западной Сибири (к развигию «стандартной модели») // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1077–1088.
- Гласко М.П., Ранцман Е.Я.* О современной блоковой структуре равнинно-платформенных территорий (на примере Истринского морфоструктурного узла) // Доклады АН СССР. 1988. Т. 300. № 6. С. 1345–1348.
- Карцев А.А., Шугрин В.П.* Геохимические методы исследований при поисках нефти и газа. М.: Недра, 1964. 203 с.
- Кулаева О.Н.* Этилен в жизни растений // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 11. С. 78–84.
- Левит А.М.* Анализ газа и дегазация при разведке нефтяных, газовых и угольных месторождений. М.: Недра, 1974. 224 с.
- Матвеев А.А.* Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых (краткий курс лекций). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 110 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учеб. пособие / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
- Нелюбов Д.Н.* О действии светильного газа на растения // Почвоведение. 1901. № 2. С. 175–178.
- Новиков В.В., Степанов А.Л., Поздняков А.И., Лебедева Е.В.* Сезонная динамика эмиссии CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O и NO из торфяных почв поймы р. Яхромы // Почвоведение. 2004. № 7. С. 867–874.
- Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т., Чурилова Н.С.* Концепция организованности подземной биосферы. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 148 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н.* Устойчивость органических соединений почвы и эмиссия парниковых газов в атмосферу // Почвоведение. 1998. № 7. С. 782–793.
- Орлов Д.С., Минько О.И., Каспаров С.В., Амосова Я.М.* Образование рассеянного углеводородного газа в почвах // Почвоведение. 1987. № 6. С. 89–94.
- Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Ковач Р.Г., Хлынина Н.И., Хлынина А.В.* Углеводородное состояние аллювиальных почв на территории Истринского морфоструктурного узла (Московская область) // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1421–1434.
- Ранцман Е.Я., Гласко М.П.* Морфоструктурные узлы – места экстремальных природных явлений. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 224 с.
- Ранцман Е.Я., Гласко М.П., Михайлов С.И., Пиотровская Е.П.* Локальные проявления блоковой структуры земной коры // Изв. РАН. Сер. географическая. 1995. № 5. С. 67–74.
- Ривкина Е.М., Краев Г.Н., Кривушин К.В., Лауринавичюс К.С., Федоров-Давыдов Д.Г., Холодов А.Л., Щербакова В.А., Гиличинский Д.А.* Метан в вечномёрзлых отложениях северо-восточного сектора Арктики // Криосфера Земли. 2006. Т. 10. № 3. С. 23–41.
- Руководство по летней учебной практике студентов-биологов на Звенигородской биостанции им. С.Н. Скадовского. Уч. метод. пособие. Изд-во Моск. ун-та, 2004. 352 с.

Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 302 с.

Соколов В.А. Прямые геохимические методы поисков нефти. М.: Гостоптехиздат, 1947. 306 с.

Степанов А.Л., Манучарова Н.А. Образование и поглощение парниковых газов в почвенных агрегатах: Уч. пособие / Под ред. В.М. Гаврилова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 82 с.

Arshad M., Frankenberger Jr.W.T. Ethylene: agricultural sources and applications // Springer Science & Business Media, 2012.

Bakshi A., Shemansky J.M., Chang C., Binder B.M. History of Research on the Plant Hormone Ethylene // Plant Growth Regulation. 2015. № 34. P. 809–827.

Bergman I., Klarqvist M., Nilsson M. Seasonal variation in rates of methane production from peat of various botanical origins: effects of temperature and substrate quality // FEMS Microbiology Ecology. 2000. T. 33. № 3. P. 181–189.

Moore T.R., Dalva M. Methane and carbon dioxide exchange potentials of peat soils in aerobic and anaerobic laboratory incubations // Soil Biology and Biochemistry. 1997. T. 29. № 8. P. 1157–1164.

Sorrell B.K., Boon P.I. Biogeochemistry of billabong sediments. II. Seasonal variations in methane production // Freshwater Biology. 1992. T. 27. № 3. P. 435–445.

Tang T., Miller D.M. Ethylene production in anaerobically incubated soils amended with poultry litter // Soil Science. 1993. T. 156. № 3. P. 186–192.

Поступила в редакцию 29.11.2017

Принята к публикации 28.12.2017

R.G. Kovach<sup>1</sup>, A.N. Gennadiev<sup>2</sup>, Yu.I. Pikovskij<sup>3</sup>, A.D. Belik<sup>4</sup>

### DYNAMICS OF HYDROCARBON GASES IN SOILS: NEW APPROACH TO THE STUDIES AND THE INDICATION POTENTIAL

Profile distribution and seasonal dynamics of hydrocarbon gases (methane, ethylene, propane, n-butane and ethane) in soil air within the Istra morphostructure node and beyond the geodynamically active territory were analyzed. It was revealed that under probable inflow of hydrocarbons from the underlying geological strata the properties of hydrocarbon gaseous profile of the soils within the node are different from those of the background area. It is concluded that emanation and biogeochemical hydrocarbon status of soils could be indicated basing on their gaseous profiles.

*Key words:* hydrocarbon gases in soils, hydrocarbon status of soils, geodynamic activity, seasonal dynamics of soils.

*Acknowledgements.* The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00193).

#### REFERENCES

Arshad M., Frankenberger Jr.W.T. Ethylene: agricultural sources and applications // Springer Science & Business Media, 2012.

Bakshi A., Shemansky J.M., Chang C., Binder B.M. History of Research on the Plant Hormone Ethylene // Plant Growth Regulation. 2015. № 34. P. 809–827.

Bazhin N.M. Metan v okruzhayushhej srede [Methane in the environment]. Analiticheskij obzor. Uchrezhdenie Ros. akad. nauk Gos. publich. nauch.-tehn. b-ka Sib. otd-niya RAN. Novosibirsk: GPNTB SO RAN, 2010. Ser. Ekologiya. № 93. 56 p. (in Russian).

Bergman I., Klarqvist M., Nilsson M. Seasonal variation in rates of methane production from peat of various botanical origins: effects of temperature and substrate quality // FEMS Microbiology Ecology. 2000. T. 33. № 3. P. 181–189.

Bezborodov G.A., Bezborodov A.G., Bezborodov Yu.G. Distribution of Carbon Dioxide and Methane in the of Irrigated Sierozems // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. № 1. P. 63–69.

Glagolev M.V., Sabrekov A.F., Kleptsova I.E., Filippov I.V., Lapshina E.D., Machida T., Maksyutov Sh.Sh. Methane Emission from Bogs in the Subtaiga of Western Siberia: The Development of

Standard Model // Eurasian soil science. 2012. V. 45. № 10. P. 947–958.

Glasko M.P., Rancman E.Ja. O sovremennoj blokovej strukture ravninno-platformnykh territorij (na primere Istrinskogo morfostrukturnogo uzla) [About modern block structure of flat platform territories (case study of the Istra morphostructural node) Doklady AN SSSR. 1988. V. 300. № 6. P. 1345–1348 (in Russian).

Karcev A.A., Shugrin V.P. Geohimicheskie metody issledovanij pri poiskah nefi i gaza [Geochemical methods of investigation in oil and gas exploration]. M.: Nedra, 1964. 203 p. (in Russian).

Kulaeva O.N. Etilen v zhizni rastenij [Ethylene in plants' life]. Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. 1998. № 11. P. 78–84 (in Russian).

Levit A.M. Analiz gaza i degazaciya pri razvedke nefnyanyh, gazovyh i ugol'nyh mestorozhdenij [Analysis of gas and degassing during the exploring of oil, gas and coal deposits]. M.: Nedra, 1974. 224 p. (in Russian).

Matveev A.A. Geohimicheskie poiski mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh (kratkij kurs lekcij) [Geochemical exploration

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Scientific Researcher; e-mail: rkovach@yandex.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: alexagenna@mail.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: lumlab@yandex.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, technician; e-mail: lumlab@yandex.ru

of mineral deposits (short course)]. M.: Izd-vo MGU, 2003. 110 p. (in Russian).

Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii: ucheb. posobie [Methods of soil microbiology and biochemistry: textbook] / Pod red. D.G. Zvyagincheva. M.: Izd-vo MGU, 1991. 304 s.

Moore T.R., Dalva M. Methane and carbon dioxide exchange potentials of peat soils in aerobic and anaerobic laboratory incubations // Soil Biology and Biochemistry. 1997. T. 29. № 8. P. 1157–1164.

Nelyubov D.N. O dejstvii svetil'nogo gaza na rasteniya [About the lighting gas effect on plants] Pochvovedenie. 1901. № 2. P. 175–178 (in Russian).

Novikov V.V., Stepanov A.L., Pozdnyakov A.I., Lebedeva E.V. Seasonal Dynamics of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and NO Emissions from Peat Soils of the Yakhroma River Floodplain // Eurasian soil science. 2004. V. 37. № 7. P. 755–761.

Oborin A.A., Rubinshtejn L.M., Hmurchik V.T., Churilova N.S. Konceptiya organizovannosti podzemnoj biosfery [The concept of organization of the underground biosphere]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2004. 148 p.

Orlov D.S., Min'ko O.I., Kasparov S.V., Amosova Ja.M. Obrazovanie rasseyannogo uglevodorodnogo gaza v pochvah [Generation of scattered hydrocarbon gas in soils] // Pochvovedenie. 1987. № 6. S. 89–94 (in Russian).

Orlov D.S., Biryukova O.N. The Stability of Soil Organic Compounds and the Emission of Greenhouse Gases into the Atmosphere // Eurasian soil science. 2017. V. 31. № 7. P. 711–720.

Pikovskiy Yu.I., Gennadiev A.N., Kovach R.G., Khlyinina N.I., Klyinina A.V. Hydrocarbon Status of Alluvial Soils in the Istra Morphostructural Node (Moscow Oblast) // Eurasian soil science. 2017. V. 50. № 12. P. 1363–1374.

Rancman E.Ja., Glasko M.P., Mihajlov S.I., Piotrovskaya E.P. Lokal'nye proyavleniya blokovej struktury zemnoj kory [Local

demonstration of block structure of the Earth's crust] // Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya. 1995. № 5. P. 67–74 (in Russian).

Rancman E.Ja., Glasko M.P. Morfostrukturnye uzly – mesta ekstremal'nyh prirodnyh yavlenij [Morphostructural nodes as areas of extreme natural phenomena]. M.: Media-PRESS, 2004. 224 p. (in Russian).

Rivkina E.M., Kraev G.N., Krivushin K.V., Laurinavichyus K.S., Fedorov-Davydov D.G., Holodov A.L., Shherbakova V.A., Gilichinskij D.A. Metan v vechnomerzlyh otlozheniyah severo-vostochnogo sektora Arktiki [Methane in permafrost sediments of north-eastern sector of the Arctic] // Kriosfera Zemli. 2006. V. 10. № 3. P. 23–41 (in Russian).

Rukovodstvo po letnej uchebnoj praktike studentov-biologov na Zvenigorodskoj biostancii im. S.N. Skadovskogo [Manual for summer educational training for biology students at the Zvenigorod biostation named after S.N. Skadovsky]. Uch-metod. posobie. Izd-vo MGU, 2004. 352 p. (in Russian).

Smagin A.V. Gazovaya faza pochv [Gaseous phase of soils]. M.: Izd-vo MGU, 2006. 302 p. (in Russian).

Sokolov V.A. Pryamye geohimicheskie metody poiskov nefi [Direct geochemical methods of oil exploration]. M.: Gostoptehizdat, 1947. 306 p. (in Russian).

Sorrell B.K., Boon P.I. Biogeochemistry of billabong sediments. II. Seasonal variations in methane production // Freshwater Biology. 1992. T. 27. № 3. P. 435–445.

Stepanov A.L., Manucharova N.A. Obrazovanie i pogloshhenie parnikovyyh gazov v pochvennyh agregatah [Genesis and absorption of greenhouse gases in soil aggregates]: Uchebnoe posobie / Pod red. V.M. Gavrilova. M.: Izd-vo MGU, 2006. 82 p. (in Russian).

Tang T., Miller D.M. Ethylene production in anaerobically incubated soils amended with poultry litter // Soil Science. 1993. T. 156. № 3. P. 186–192.

Received 29.11.2017

Accepted 28.12.2017