

УДК 504.53.0.54/064+547.62

А.Н. Геннадиев<sup>1</sup>, Ю.И. Пиковский<sup>2</sup>, М.А. Смирнова<sup>3</sup>, А.П. Жидкин<sup>4</sup>, Р.Г. Ковач<sup>5</sup>

## УГЛЕВОДОРОДНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ФОНОВЫХ ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ УСТЬЯНСКОГО ПЛАТО)

Изучены природные модификации углеводородного состояния (УВС) среднетаежных почв, формирующихся при их разном гранулометрическом составе, под различной растительностью и в разных условиях аэрации, в том числе в условиях спонтанной свободной циркуляции газа, обогащенного углеводородами. Проведено сравнение состава и содержания основных компонентов УВС исследованных среднетаежных почв и опубликованных ранее данных УВС южнотаежных почв. Сделан вывод о том, что характер локального увлажнения играет более важную роль в формировании УВС почв, чем подзональные биоклиматические различия. Показано, что преобладающий тип УВС природных почв – биогеохимический. В некоторых почвах можно выделить наложенный эманационный тип, отличающийся от биогеохимического главным образом газовой составляющей УВС почв.

*Ключевые слова:* битуминозные вещества, полициклические ароматические углеводороды, почвенный воздух, факторы почвообразования, подзолы, подзолистые почвы.

**Введение.** В настоящее время отмечается повышенное внимание к изучению поведения различных углеводородных соединений в ландшафтах, особенно в почвах. Это обусловлено тем, что обширные фрагменты почвенного покрова находятся под воздействием добычи, транспортировки и переработки нефти и газа. Однако, несмотря на большой объем таких работ, остается ряд вопросов, которые требуют ответа.

Во-первых, подавляющее большинство публикаций посвящено поведению в почвенном покрове именно техногенных углеводородов (УВ) [Геннадиев и др., 2015б]. Между тем углеводородные соединения необходимо изучать и в почвах естественных ландшафтов, не измененных техногенными факторами. Известно, что природные процессы играют важную роль в обогащении почв углеводородами (УВ). А.И. Перельман [1979] даже выделял особую *углеводородную функцию живого вещества*, которая реализуется в бескислородной среде при разложении органических остатков микроорганизмами. Он также подчеркивал, что другим источником УВ в почвах могут быть «углеводороды, возникающие на глубинах в сотни и тысячи метров», которые «легко мигрируют... к земной поверхности» [там же, с. 205].

Во-вторых, практически не изучается широкий спектр углеводородов (УВ). Разные группы этих соединений и содержащих их веществ (нефть, нефтепродукты, полициклические ароматические углеводороды, алканы, УВ газы и др.) исследуются, как правило, раздельно и разными коллективами специалистов [Cayet, Lichtfouse, 2001; Agarwal et al., 2009;

Bayer et al., 2012], что не всегда позволяет установить генезис углеводородов в почве и всесторонне оценить такие характеристики, как устойчивость почв к воздействию УВ поллютантов, почвенный потенциал самоочищения от последних и др.

В работе использовано введенное авторами ранее комплексное понятие «углеводородное состояние почв» (УВС почв) [Пиковский и др., 2008, 2009], которое характеризуется набором следующих параметров: а) суммарное содержание и качественный состав битумоидов (веществ, экстрагируемых из почв неполярными и малополярными органическими растворителями); б) состав и уровни содержания индивидуальных углеводородных соединений, присутствующих в битумоиде (полициклических ароматических углеводородов); в) количество и индивидуальный состав свободных и удерживаемых почвой (адсорбированных и заземленных) УВ газов. При доминировании тех или иных факторов (импактное загрязнение почв продуктами техногенеза, выпадение поллютантов из атмосферы, дегазация глубоких слоев литосферы, биогеохимические процессы образования и окисления УВ внутри почвенной толщи и др.) формируются различные модификации УВС почв (инъекционный, атмо-седиментационный, эманационный, биогеохимический).

Кроме того, с учетом сказанного выше, здесь акцент сделан на изучение углеводородного комплекса фоновых почв. Ранее характеристики УВС почв, находящихся вне прямого техногенного воздействия, были получены для южнотаежных ланд-

<sup>1</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>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: lumngu@mail.ru

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

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: gidkin@mail.ru

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с.; e-mail: rkovach@yandex.ru

шафтов на участках Сатинского полигона МГУ имени М.В. Ломоносова (Калужская область) и в бассейне р. Ирень (Пермский край) [Краснопеева, 2008; Краснопеева, Пузанова, 2011]. Территории средней и северной тайги, к которым приурочены наиболее крупные нефтяные промыслы и тысячекилометровые нефте- и газопроводы, подобными исследованиями не затрагивались. Поэтому задача установления фонового УВС почв этих ландшафтов представляется особенно актуальной.

Таким образом, цель работы – установление природных модификаций УВС среднетаежных почв, которые находятся вне очевидного техногенного воздействия и отличаются разнообразием природных факторов почвообразования, включая наличие спонтанной свободной циркуляции газа, обогащенного углеводородами. В задачи исследования входило: а) выявление характеристик битуминозных веществ и углеводородных газов в почвенном покрове; б) оценка роли растительности, гранулометрического состава и степени гидроморфности почв в формировании модификаций УВС почв; в) сопоставление полученных данных о УВС фоновых среднетаежных почв с фоновыми параметрами УВС южнотаежных почв, исследованных ранее.

**Материалы и методы исследований.** Основные работы проведены в 2015 г. в пределах участка «Кокшеньга», расположенного на границе Архангельской и Вологодской областей. Рекогносцировочные исследования на этой территории выполнены в 2014 г., а первые результаты представлены в публикации [Геннадиева и др., 2015а]. Ключевой участок «Кокшеньга» расположен в пределах малозатронутой в настоящее время хозяйственной деятельностью юго-западной части Устьянского плато, в долине р. Кокшеньга и на междуречье рек Кокшеньга и Устья. В радиусе нескольких десятков километров от территории исследования отсутствуют какие-либо крупные предприятия, характеризующиеся интенсивными выбросами УВ.

Почвообразующие породы в пределах исследованной территории разнообразны. На водораздельных участках залегают флювиогляциальные и озерные пески, моренные суглинки, двучленные наносы с разной степенью радиальной контрастности по гранулометрическому и минералогическому составу и с разной мощностью верхнего субстрата [Гаврилова, Горбунова, 2002]. Террасы покрыты разновозрастными аллювиальными отложениями песчаного (от мелко- до крупнозернистого) гранулометрического состава с прослоями гравия и мелкой гальки. На водораздельных участках почвы формируются под ельниками черничными зеленомошными с преобладанием ели европейской, с участием ели сибирской. На тяжелых по гранулометрическому составу породах широко развиты заболоченные ландшафты. В пределах речных долин почвы формируются под сосняками бруснично-зеленомошными и багульниковыми зеленомошными на террасах и под луговой растительностью с таволгой вязолистной и осокой волосистой на поймах. Встречаются вторичные ело-

во-сосновые леса с примесью мелколиственных пород – березы повислой, березы пушистой и осины обыкновенной. Моховой покров хорошо развит, преобладают виды зеленых мхов и кукушкин лен. При ухудшении условий дренажа в локальных микропонижениях и западинах формируются зеленомошные растительные ассоциации. Почвенный покров на ключевом участке «Кокшеньга» представлен аллювиальными гумусовыми глеевыми и аллювиальными торфяно-глеевыми почвами в поймах рек, различными подтипами подзолов на террасах, подзолов и подзолистых почв (в том числе торфяных) на водораздельных участках. К особенностям территории относится наличие погребенных торфяных горизонтов, диагностируемых в обнажениях речных пойм.

Таким образом, к факторам, влияющим на характер УВС почв на исследованном участке, можно отнести резкую и часто контрастную смену почвообразующих пород, как в радиальном, так и в латеральном направлении, разные типы растительности и условий увлажнения почв, а также присутствие погребенных торфов.

В ходе полевых работ на территории выбранного ключевого участка проанализировано содержание углеводородов в свободно циркулирующем почвенном воздухе с помощью полевого газоанализатора «Drager». Исследования выполнены в 25 точках на площади около 30 км<sup>2</sup>. На основании полученных данных и с учетом ландшафтно-геохимических условий и комбинаций факторов, влияющих на формирование УВС почв, заложено четыре почвенных разреза. Два разреза расположены на террасе р. Кокшеньга (разрезы 1, 2), сложенной древнеаллювиальными песками, и два – на водораздельной поверхности – на флювиогляциальных песках (разрез 3) и на двучленных отложениях (разрез 4). Кроме того, в зачистке на обрывистом берегу высокой поймы реки исследован погребенный торфяной горизонт. Образцы для исследования УВС почв отобраны из генетических горизонтов и подстилающей почвообразующей породы, а также из погребенного торфяного горизонта в обнажении и отложений, залегающих над и под торфяным горизонтом. Для анализа удерживаемых почвой газов (защемленных, адсорбированных, растворенных) образцы отбирались в герметизированные контейнеры.

Все химико-аналитические исследования образцов почв выполнены в лаборатории углеродистых веществ биосферы кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Анализ углеводородов (C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub>) в почвенных газах проводился методом газовой хроматографии на приборе «Кристалл 5000.1» с пламенно-ионизационным детектором («Хроматэк») по стандартной методике [Методика..., 2005].

Для определения содержания C<sub>орг</sub> применялся метод бихроматного окисления – мокрого озонения по Тюрину [Аринушкина, 1970], с использованием двухлучевого спектрофотометра «Specord M40».

Количественные и качественные характеристики битуминозных веществ изучали модифицированным методом люминесцентно-битуминологического анализа по В.Н. Флоровской [Краснопеева, 2007]. Битуминозные вещества экстрагировали из воздушно-сухих навесок почв *n*-гексаном при комнатной температуре. Выход флуоресценции полученного экстракта (гексанового битумоида) измеряли на приборе серии «Флюорат-2М» («Люмэкс») со сменными светофильтрами в ультрафиолетовой и видимой областях спектра. Стандарт для расчета количественных данных подбирался по соотношению люминесцентных характеристик раствора из базы данных. Качественную характеристику битумоида определяли по цвету и ширине капиллярной вытяжки, а также по соотношению выхода люминесценции в ультрафиолетовой и видимой областях спектра.

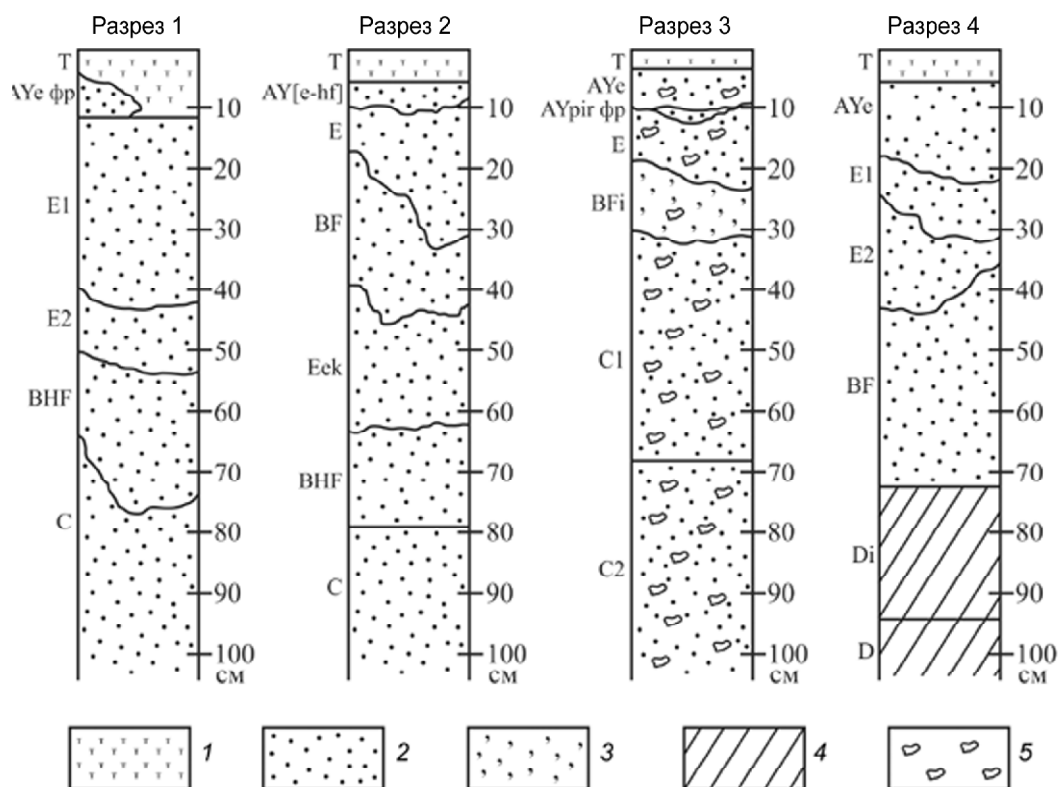
В гексановом битумоиде определяли 11 индивидуальных соединений полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) методом спектроскопии Шпольского – спектрофлуориметрический анализ при низкой температуре [Алексеева, Теплицкая, 1981; Теплицкая и др., 1981]. Измерения проведены на спектрофлуориметрическом комплексе «Флюорат-Панорама» («Люмэкс»), дополненного монохроматором «ЛМ-3» и криогенной приставкой «КРИО-1». В качестве стандарта для идентификации и количественного определения ПАУ использовали сертифицированный стандарт 2260a Национального института стандартов и технологий (США).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Особенность исследованного ключевого участка

заключается в повышенной (до 16,5 ppm) концентрации суммы углеводородов в свободном почвенном воздухе в почвах.

Повышенная концентрация углеводородов в почвенном воздухе впервые обнаружена в почвах террасы р. Кокшеньга в ходе рекогносцировочных исследований в начале июля 2014 г. [Геннадиев и др., 2015a] и повторно подтверждена в конце июля 2014 г., а также весной и летом 2015 г. В ходе исследований, проведенных весной 2015 г., также выявлена высокая пространственная вариабельность концентрации суммарных УВ газов в свободном почвенном воздухе песчаных почв. На расстоянии ~2 м разница их содержания в торфяно-подзоле иллювиально-железисто-гумусовом и дерново-подзоле иллювиально-железисто-гумусовом достигала 13 ppm. Результаты морфологического исследования почв не позволяют высказать предположение о природе таких различий. Высокая пространственная вариабельность содержания углеводородов в почвах может быть обусловлена литологической неоднородностью подпочвенных отложений. При этом повышенная концентрация углеводородных газов в свободном воздухе наблюдается только в почвах, имеющих песчаный гранулометрический состав в пределах всего профиля. В болотных почвах и в почвах, формирующихся на двучленных отложениях, эти значения не превышали 3 ppm.

В ходе исследований получены данные о морфологическом строении почв на ключевом участке (рисунок). Разрезы 1 и 2 заложены на древнеаллювиальных песках высокой террасы р. Кокшеньга под сосняками бруснично-зеленомошными в местах с



Строение почвенных профилей и особенности почвообразующих пород: 1 – торф, 2 – песок, 3 – супесь, 4 – суглинок, 5 – щебень

The soil profiles and characteristics of parent sediment: 1 – peat, 2 – sand, 3 – sandy loam, 4 – loam, 5 – rock debris

повышенным (разрез 1) и низким (разрез 2) содержанием углеводов в почвенном воздухе. Почвы представлены торфяно-подзолами иллювиально-железисто-гумусовыми (разрез 1) и дерново-подзолами иллювиально-железисто-гумусовыми (разрез 2). Особенность торфяно-подзола иллювиально-железисто-гумусового – залегание торфяного горизонта (мощность от 3 до 11 см) непосредственно на элювиальном горизонте Е (мощность от 30 до 50 см); серогумусовый оподзоленный горизонт встречается фрагментарно. В пределах элювиального горизонта можно выделить два субгоризонта Е1 и Е2, отличающихся главным образом цветом, однородностью окраски и степенью увлажненности. Вышележащий субгоризонт Е1 характеризуется меньшей увлажненностью и более пестрой окраской вследствие образования в лишенных влаги почвенных порах желтовато-бурых железистых стяжений (диаметр до 1 мм) и железомарганцевых конкреций. Стяжения и конкреции обнаружены и в нижележащем субгоризонте Е2, однако в меньшем количестве. Залегающий ниже иллювиально-железисто-гумусовый горизонт ВНГ характеризуется плотным сложением и коричнево-бурым цветом, в горизонте обнаружены непрочные темно-бурые конкреции (диаметр до 5 мм). На глубине 70–74 см залегает граница между горизонтом ВНГ и бурой с желтоватым оттенком уплотненной почвообразующей породой.

Дерново-подзол иллювиально-железистый (разрез 2), в отличие от описанного выше торфяно-подзола иллювиально-железистого (разрез 1), характеризуется более сложным строением почвенного профиля. Под торфяным горизонтом (мощность от 5 до 8 см) залегает серогумусовый горизонт АУ[e-hf] с микропрофилем подзола (мощность горизонта от 4 до 14 см). В целом материал горизонта имеет серый оттенок; в верхней части выделяется тонкий микрогоризонт е с белесой присыпкой, сменяющийся микрогоризонтом hf, серым с буровато-желтым оттенком. Под серогумусовым горизонтом последовательно залегают элювиальный, иллювиально-железистый, элювиальный и иллювиально-железисто-гумусовый горизонты. Природа элювиального горизонта, обнаруженного между горизонтами ВГ и ВНГ, по нашему мнению, обусловлена периодическим застоём влаги на поверхности более плотного горизонта ВНГ и растворением железистых пленок с поверхности минеральных частиц материала вышележащего горизонта. Мощность элювиального контактно-осветленного горизонта варьирует от 6 до 30 см. На глубине ~80 см залегает верхняя граница почвообразующей породы.

На высокой пойме р. Кокшеньга в 170 м на северо-запад от разрезов 1 и 2 сделана зачистка, в которой на глубине ~5 м обнаружен торфяной пласт, залегающий на глинистых отложениях и погребенный песчаной толщей. Мощность торфа составляет ~50 см. Горизонт представлен неоднородным по цвету (встречаются прослои и линзы буровато-коричневого и серовато-бурого цвета) органическим

материалом разной степени разложения (от слабой до средней). В пределах высокой поймы горизонт встречается фрагментарно и может залегать на разной глубине.

Разрезы 3 и 4 заложены на водораздельной поверхности – щебнистых флювиогляциальных песках под березово-елово-сосновым бруснично-зеленомощным лесом (разрез 3) и двучленных отложениях под елово-березовым лесом (разрез 4). Почва разреза 3 представлена дерново-подзолом иллювиально-железистым постпирогенным. Главные особенности почвы – большое количество обугленных остатков растений в верхней части профиля и (предположительно) литологическая неоднородность почвообразующей породы. Почва щебнистая, на глубине 17–30 см выделяется супесчаный иллювиально-железистый горизонт, граничащий сверху и снизу с песчаным материалом горизонтов Е и С.

Дерново-подзол литобарьерный глинисто-иллювиированный (разрез 4) формируется, как указано выше, на двучленных почвообразующих породах – в пределах почвенного профиля на глубине 73 см происходит литологическая смена мелкозернистого песка тяжелым суглинком. Верхняя песчаная часть почвенного профиля представлена горизонтами АУе, Е и ВГ, нижняя суглинистая – горизонтами D<sub>i</sub> и D. Горизонт D<sub>i</sub> отличается многопорядковой структурой и наличием тонких глинистых кутан на гранях структурных отдельностей.

Содержание  $C_{орг}$  в изученных почвенных разрезах очень низкое, в основном <1% (табл. 1). Самые высокие значения (1,1–1,2%) определены в верхней части профиля (горизонты АУе и АУ<sub>pir</sub>).

Почвы отличаются по характеру радиального распределения гексанового битумоида и его типу. В почвах на песчаных отложениях (разрезы 1–3) радиальное распределение битумоида носит аккумулятивный характер, максимальные значения наблюдаются в серогумусовом оподзоленном горизонте на глубине от 3 до 10 см и варьируют от 96–160 мг/кг (разрезы 1, 2) до 20 мг/кг (разрез 3). Тип битумоида в этих горизонтах маслянисто-смолистый (табл. 1). Ниже серогумусового горизонта в других почвенных горизонтах и в подстилающей породе битумоид отмечен в виде следов (<5 мг/кг – предела чувствительности метода). Связь содержания битумоида с концентрацией углеводов в свободном почвенном воздухе не отмечена. Распределение битумоида в почвах на двучленных отложениях (разрез 4) носит срединно-аккумулятивный характер с максимальным содержанием в горизонте ВГ (20 мг/кг). По всему профилю в остальных горизонтах содержание битумоидов находится на уровне 8–10 мг/кг, за исключением подстилающей породы, где отмечены только его следы (<5 мг/кг). Битумоид дерново-подзола литобарьерного глинисто-иллювиированного по всему профилю относится к легкому типу. Таким образом, можно предположить наличие связи между гранулометрическим составом почв и типом битумоида и особенностями его радиального распределения.

Таблица 1

## Параметры углеводородного состояния почв и содержание органического углерода

| Разрез | Горизонт | Глубина, см   | Тип битумоида | Содержание битумоида, мг/кг | Состав и содержание ПАУ, нг/кг       | Максимальное содержание свободных УВ газов, ppm | C <sub>орг</sub> , % |
|--------|----------|---------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------|
| 1      | AYe фр.  | 3(8)–11       | средний       | 160                         | нафталины, фенантрен; 20–130         | 13,5                                            | 1,1                  |
|        | E1       | 11–40(44)     | н.о.          | <5                          |                                      |                                                 | 0,2                  |
|        | E2       | 40(44)–50(53) | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | 0,0                  |
|        | BHF      | 50(53)–64(75) | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | 0,1                  |
|        | C        | 64(75)–110    | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | –                    |
| 2      | AY[e-hf] | 6–10(12)      | средний       | 96                          | нафталины, фенантрен; 10–80          | 0,5                                             | 0,8                  |
|        | E        | 10(12)–16(34) | н.о.          | <5                          |                                      |                                                 | 0,0                  |
|        | BF       | 16(34)–39(46) | средний       | 8                           |                                      |                                                 | 0,5                  |
|        | Eek      | 39(46)–61     | н.о.          | <5                          |                                      |                                                 | 0,1                  |
|        | BHF      | 61–80         | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | –                    |
|        | C        | 80–90         | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | –                    |
| 3      | AYe      | 2–9(10)       | средний       | 5                           | нафталины; 5–55                      | 16,5                                            | 0,5                  |
|        | AYpir фр | 9(10)–9(13)   | средний       | 20                          |                                      |                                                 | 1,2                  |
|        | E        | 9(13)–17(22)  | н.о.          | <5                          |                                      |                                                 | 0,1                  |
|        | BFi      | 17(22)–30(32) | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | 0,4                  |
|        | C1       | 30(32)–68     | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | 0,0                  |
|        | C2       | 68–112        | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | 0,0                  |
| 4      | AYe      | 5–18(22)      | легкий        | 10                          | нафталины, фенантрен, дифенил; 10–40 | 0,5                                             | 0,2                  |
|        | E1       | 18(22)–24(32) | легкий        | 8                           |                                      |                                                 | 0,2                  |
|        | E2       | 24(32)–37(44) | легкий        | 8                           |                                      |                                                 | 0,2                  |
|        | BF       | 37(44)–73     | легкий        | 20                          |                                      |                                                 | 0,0                  |
|        | Di       | 73–94         | легкий        | 8                           |                                      |                                                 | 0,1                  |
|        | D1       | 94–124        | легкий        | 5                           |                                      |                                                 | 0,0                  |
|        | D2       | 124–130       | н.о.          | <5                          |                                      |                                                 | 0,1                  |
|        | D3       | 130–145       | –«–           | <5                          |                                      |                                                 | 0,0                  |

Примечание. В скобках – максимальная глубина горизонта.

Исследованные почвы на ключевом участке характеризуются низким содержанием ПАУ (<0,1% в битумоиде и <0,05 мг/кг в почве; табл. 1). ПАУ представлены главным образом легкими низкоконденсированными соединениями с двумя кольцами – гомологами нафталина или дифенилом, на долю которых, включая 3-кольчатый фенантрен в единичных пробах, приходится ≥85% от суммы всех ПАУ. В отдельных образцах обнаружены флуорен и антрацен (3-кольчатые ПАУ), хризен, пирен и тетрафен (4-кольчатые ПАУ), 5- и 6-кольчатые ПАУ не обнаружены. Распределение ПАУ в почвах носит аккумулятивный характер, для некоторых индивидуальных соединений ПАУ наблюдается небольшой локальный максимум в иллювиальном горизонте.

Удерживаемый почвенный воздух в исследованных почвах характеризуется широким спектром газообразных УВ, среди которых обнаружены в основном метан и этилен. Другие углеводороды ряда

C<sub>2</sub>–C<sub>4</sub> находятся на уровне следовых количеств. Метан и этилен, как правило, обнаружены в пределах всего почвенного профиля. Максимальное содержание метана в удерживаемом почвенном воздухе приурочено к гумусовым оподзоленным горизонтам и достигает 17 ppm, этилена – 65 ppm. Следы других углеводородов (в том числе непредельных) обнаружены преимущественно в гумусовых оподзоленных горизонтах. Отметим, что почвы, формирующиеся на двучленных отложениях (разрез 4), как в песчаных, так и в суглинистых горизонтах, в среднем характеризуются в 2–3 раза более высоким содержанием УВ газов в удерживаемом почвенном воздухе, чем почвы на песчаных породах (разрезы 1–3). Радиальное распределение удерживаемых УВ газов в почвах, как и в случае с ПАУ, носит аккумулятивный характер. Для метана небольшой локальный максимум наблюдался в иллювиально-железистых горизонтах почв.

Таблица 2

## Содержание углеводородных газов в удерживаемом почвенном воздухе в погребенном торфяном горизонте и сопряженных пластах

| Горизонт  | Глубина<br>от поверхности,<br>м | Содержание удерживаемых газов,<br>ppm |        |                                                   |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|
|           |                                 | метан                                 | этилен | другие УВ газы,<br>C <sub>2</sub> –C <sub>4</sub> |
| Песчаный  | 4,5                             | 2,0                                   | 0,8    | 0,4                                               |
| Торфяной  | 5,0                             | 324,0                                 | 3,1    | 1,5                                               |
| Глинистый | 5,5                             | 2946,0                                | 5,0    | 2,5                                               |

Показательно распределение удерживаемых почвенных газов, отобранных из зачистки на высокой пойме р. Кокшеньга, где на глубине 5 м под песчаным горизонтом был вскрыт погребенный торфяной пласт (мощность ~50 см), подстилаемый глинистыми отложениями. В пределах обнажения содержание УВ газов в удерживаемом почвенном воздухе увеличивается с глубиной – максимальная концентрация УВ газов обнаружена в глинистом горизонте. Концентрация метана здесь на порядок превышает таковую в вышележащих торфяном горизонте и на 3 порядка в песчаном горизонте (табл. 2). Значение концентрации этилена и других газов в удерживаемом почвенном воздухе глинистого и торфяного горизонтов в целом повторяют распределение метана. Полученные данные о распределении УВ газов показывают, что газовый поток не мог генерироваться в торфяном пласте, а шел снизу, т.е. он имеет эманационное происхождение. Глинистый и торфяной горизонты, как обладающие более высокой сорбционной способностью, выступают в качестве барьеров на пути миграции УВ. Отметим, что по особенностям состава и концентрации УВ газов самый верхний песчаный горизонт обнажения близок к исследованным почвам (разрезы 1–4).

Особенности состава УВ почвенного комплекса позволяют отнести УВС исследованных почв к биогеохимическому типу. Характерные черты этого типа – в целом низкое содержание гексанового битумоида и ПАУ, состав полиаренов определяется легкими низкоконденсированными соединениями. По результатам полевых газометрических работ можно выделить наложенный эманационный тип УВС почв для торфяно-подзолов иллювиально-железисто-гумусовых (разрез 1) и дерново-подзолов иллювиально-железистых постпирогенных (разрез 3).

Полученные данные УВС исследованных среднетаежных почв на участке «Кокшеньга» сопоставлены с опубликованными ранее характеристиками УВС фоновых южнотаяжских почв [Краснопеева, 2008; Краснопеева, Пузанова, 2011]. Преобладающий тип УВС для южнотаяжских почв определен как биогеохимический. Содержание гексановых битумоидов в дерново-подзолистых почвах южной тайги было низким – <200 мг/кг. Суммарное содержание ПАУ, в которых преобладали низкомолекулярные структуры, не превышало 0,3 мг/кг. В то же время для болотных торфяных фоновых почв южнотаяжских ландшафтов было характерно более высокое содержание гексанового битумоида (до 500 мг/кг) при сходных составе и содержании ПАУ. Таким образом, сравнение полученных нами данных УВС почв среднетаежных ландшафтов с литературными данными УВС почв южнотаяжских ландшафтов показывает, что подзолы средней тайги и дерново-подзолистые почвы южной тайги ближе между со-

бой по содержанию битумоида, чем дерново-подзолистые и болотные почвы, формирующиеся в одной ландшафтной подзоне – южной тайге. Это указывает на то, что характер локального увлажнения играет более важную роль в формировании УВС почв, чем подзональные биоклиматические различия. В некоторых почвах южнотаяжских ландшафтов обнаружена повышенная концентрация УВ газов в свободном почвенном воздухе (до 1000 мг/м<sup>3</sup>), что мы трактуем как результат воздействия восходящих глубинных потоков.

**Выводы:**

– для углеводородного состояния почв фоновых среднетаежных ландшафтов характерно низкое содержание гексанового битумоида – от следового количества до 160 мг/кг. Тип битумоида легкий для почв, формирующихся на песчаных отложениях, средний – для почв, формирующихся на двучленных отложениях; в этих почвах выявлено низкое содержание полициклических ароматических углеводородов (<150 нг/г) с преобладанием легких полиаренов, что соответствует биогеохимическому типу УВС почв;

– в некоторых почвах на исследованной территории можно выделить наложенный эманационный тип УВС, отличающийся от биогеохимического повышенным содержанием суммарных углеводородов в свободном почвенном воздухе. Это явление наблюдается только в почвах, имеющих в пределах всего профиля песчаный гранулометрический состав. Глубокие почвенные горизонты суглинистого состава и водонасыщенные горизонты (в болотных почвах) выступают в качестве геохимического барьера на пути восходящих потоков углеводородных газов;

– повышенные значения концентрации УВ в удерживаемом почвенном воздухе погребенных торфов и ниже лежащих глинистых горизонтов, обнаруженные на исследованной территории, свидетельствуют о поступлении газообразных УВ в почвы с глубинными эманациями;

– при сравнении УВС почв фоновых средне- и южнотаяжских ландшафтов установлено, что характер локального увлажнения играет более важную роль в формировании УВС почв, чем подзональные биоклиматические различия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Т.А., Теплицкая Т.А. Спектрофлуориметрические методы анализа полициклических ароматических углеводородов в природных и техногенных средах. Л.: Гидрометеониздат, 1981. 215 с.
- Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 490 с.
- Гаврилова И.П., Горбунова И.А. Особенности текстурно-подзолистых иллювиально-железистых почв Архангельской учебно-научной станции МГУ // Геохимия ландшафтов и география почв. Смоленск: Ойкумена, 2002. С. 242–268.
- Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Жидкин А.П. и др. Факторы и модификации углеводородного состояния почв // Почвоведение. 2015а. № 11. С. 1314–1329.
- Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Цибарт А.С., Смирнова М.А. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) // Почвоведение. 2015б. № 10. С. 1195–1209.
- Краснопеева А.А. К методике люминесцентного анализа нефтепродуктов в почвах // Сб. мат-лов 2-й междунар. научн. конф. «Современные проблемы загрязнения почв». М.: факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Докучаевское об-во почвоведов, РФФИ, 2007. Т. 2. С. 200–203.
- Краснопеева А.А. Природные битумоиды в почвах лесной зоны: люминесцентная диагностика и уровни содержания (Сатинский полигон МГУ) // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1453–1465.
- Краснопеева А.А., Пузанова Т.А. Геохимический углеводородный фон в почвах южной тайги // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 3. С. 33–40.
- Методика выполнения измерений массовых концентраций предельных углеводородов  $C_1$ – $C_5$  и непредельных углеводородов (этена, пропена, бутенов) в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом газовой хроматографии ПНД Ф 13.1.2:3.23-98. М.: ФГУ «ФЦАО», 2005. 20 с.
- Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
- Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 208 с.
- Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Краснопеева А.А., Пузанова Т.А. Углеводородные геохимические поля в почвах района нефтяного промысла // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. № 5. С. 28–35.
- Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Оборин А.А. и др. Углеводородное состояние почв на территории нефтедобычи с карстовым рельефом // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1314–1323.
- Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А., Оглоблина А.И. Принципы люминесцентно-спектральной диагностики токсичных и канцерогенных углеводородов // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 100–117.
- Agarwal T., Khillare P.S., Shridhar V., Ray Sh. Pattern, sources and toxic potential of PAHs in the agricultural soils of Delhi, India // J. Hazardous Materials. 2009. Vol. 163, N 2–3. P. 1033–1039.
- Bayer C., Gomes J., Vieira F.C.B. et al. Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems // Soil and Tillage Res. 2012. Vol. 124. P. 1–7.
- Cayot Ch., Lichtfouse E.  $d^{13}C$  of plant-derived n-alkanes in soil particle-size fractions // Organic Geochem. 2001. Vol. 32. P. 253–258.

Поступила в редакцию 16.02.2016

Принята к публикации 18.03.2016

A.N. Gennadiev<sup>1</sup>, Yu.I. Pikovskii<sup>2</sup>, M.A. Smirnova<sup>3</sup>,  
A.P. Zhidkin<sup>4</sup>, R.G. Kovach<sup>5</sup>

# HYDROCARBON STATUS OF NATURAL SOILS IN TAIGA LANDSCAPES (SOUTHWESTERN PART OF THE USTYANSKOE PLATEAU)

The work is devoted to the study of natural features of the hydrocarbon status (HCS) of middle taiga soils with different texture and under different vegetation cover, soil aeration conditions, including soils forming under spontaneous free flow of hydrocarbon-rich gases. A comparison between the composition and content of the main components of HCS of studied middle taiga soils and published data of southern taiga soils was conducted; it is concluded that the local moisture conditions play a more important role in the formation of HCS of soils than subzonal bioclimatic differences. Biogeochemical type of HCS is predominant for natural soils. In some soils, the affiliated emanation type may be detected, which differs from the biogeochemical type mostly by the gas component of HCS.

**Keywords:** bituminous substances, polycyclic aromatic hydrocarbons, soil gases, soil forming factors, podzol, podzolic soils.

**Acknowledgements.** The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project N 14-17-00193).

<sup>1</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>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Leading Research Scientist, D.Sc. in Geography; *e-mail:* lummgu@mail.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Research Scientist, PhD in Geography; *e-mail:* summerija@yandex.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Research Scientist, PhD in Geography; *e-mail:* gidkin@mail.ru

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Research Scientist; *e-mail:* rkovach@yandex.ru

## REFERENCES

- Agarwal T., Khillare P.S., Shridhar V., Ray Sh. Pattern, sources and toxic potential of PAHs in the agricultural soils of Delhi, India // J. Hazardous Materials. 2009. Vol. 163. no 2–3. P. 1033–1039.
- Alekseeva T.A., Teplickaja T.A. Spektrofluorimetricheskie metody analiza policiklicheskih aromaticeskikh uglevodorodov v prirodnyh i tehnogennyh sredah [Spectrum fluorimetric methods for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in natural and technogenic landscapes]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1981, 215 p. (in Russian).
- Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Chemical analysis of soil]. Moscow, Izd-vo Moskovskogo un-ta, 1970, 490 p. (in Russian).
- Bayer C., Gomes J., Vieira F.C.B. et al. Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems // Soil and Tillage Res. 2012. Vol. 124. P. 1–7.
- Cayet Ch., Lichtfouse E.  $\delta^{13}\text{C}$  of plant-derived n-alkanes in soil particle-size fractions // Organic Geochem. 2001. Vol. 32. P. 253–258.
- Gavrilova I.P., Gorbunova I.A. Osobennosti tekturno-podzolistykh illjuvial'no-zhelezistykh pochv Arhangel'skoj uchebno-nauchnoj stancii MGU [The features of textural podzol illuvial-ferruginous soils of the Arkhangelsk research station of MSU], Smolensk, Ojkumena, Geohimija landshaftov i geografija pochv, 2002, pp. 242–268 (in Russian).
- Gennadiev A.N., Pikovskij Yu. I., Smirnova M.A., Tsibart A.S. Hydrocarbons in soils: Origin, composition, and behavior (review) // Eurasian Soil Science. 2015b. Vol. 48. N 10. P. 1195–120.
- Gennadiev A.N., Pikovskij Yu.I., Zhidkin A.P. et al. Factors and features of the hydrocarbon status of soils // Eurasian Soil Science. 2015a. Vol. 48. N 11. P. 1193–1206.
- Krasnopeeva A.A. K metodike ljuminescentnogo analiza nefteproduktov v pochvah [Luminescent analysis of petroleum products in soils] // Proceedings of the II Intern. Conference «Modern Problems of Soil Pollution». Vol. 2. Moscow, 2007. P. 200–203 (in Russian).
- Krasnopeeva A.A. Natural bituminoids in soils of the forest zone: Luminescence diagnostics and content levels (Satino Research Station, Moscow State University) // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41. P. 1282–1293.
- Krasnopeeva A.A., Puzanova T.A. Geohimicheskij uglevodorodnyj fon v pochvah juzhnoj tajgi [Geochemical hydrocarbon background in soils of the southern taiga], Vestnik Moskovskogo Unversiteta, Seriya 5, Geografiya, 2011, no 3, pp. 33–40 (in Russian).
- Metodika vypolnenija izmerenij massovykh koncentracij predel'nyh uglevodorodov S1-S5 i nepredel'nyh uglevodorodov (jetena, propena, butenov) v atmosfernom vozduhe, vozduhe rabochej zony i promyshlennyh vybrosah metodom gazovoj hromatografii PND F 13.1:2:3.23-98 [Methods of measurement of mass concentrations of  $\text{C}_1$ – $\text{C}_5$  saturated hydrocarbons and unsaturated hydrocarbons (ethene, propene, butene) in the ambient air, workplace air and industrial emissions by PND F 13.1 GC: 2: 3.23-98], Moscow, FGU «FCAO», 2005, 20 p. (in Russian).
- Perelman A.I. Geohimija [Geochemistry]. Moscow, Vysshaja shkola, 1979. P. 423 (in Russian).
- Pikovskij Yu.I. Prirodnye i tehnogennye potoki uglevodorodov v okruzhajushhej srede [Natural and technogenic streams of hydrocarbons in the environment], Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1993, 208 p. (in Russian).
- Pikovskij Yu.I., Gennadiev A.N., Krasnopeeva A.A., Puzanova T.A. Uglevodorodnye geohimicheskie polja v pochvah rajona nefljanogo promysla [Hydrocarbon geochemical fields in the soils of oil extraction area], Vestnik Moskovskogo Unversiteta, Seriya 5, Geografiya, 2009, no 5, pp. 28–34 (in Russian).
- Pikovskij Yu.I., Gennadiev A.N., Puzanova T.A. et al. Hydrocarbon status of soils in an oil-producing region with karst relief // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41. N 11. P. 1162–1170.
- Teplickaja T.A., Alekseeva T.A., Ogloblina A.I. Principy ljuminescentno-spektral'noj diagnostiki toksichnyh i kancerogennyh uglevodorodov [Principles of luminescence-spectral diagnostics of toxic and carcinogenic hydrocarbons], Moscow, Nauka, Tehnogennye potoki veshhestva v landshaftah i sostojanie jekosistem, 1981, pp. 100–117 (in Russian).

Received 16.02.2016

Accepted 18.03.2016