

УДК 504.53.0.54/064+547.62

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПОЛИАРЕНЫ В ПОЧВАХ

© 2018 г. А. Н. Геннадиев¹, *, А. Ю. Киселева¹, Ю. И. Пиковский¹, М. А. Смирнова¹¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

*e-mail: alexagenna@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.2018 г.

Проведено изучение, обобщение и сравнительный анализ данных, характеризующих содержание и состав полиаренов в почвах участков, находящихся под воздействием следующих геологических явлений: 1) приближение битуминозного вещества к дневной поверхности по разлому земной коры из глубоких слоев осадочных пород с образованием битуминозных песчаников и линз асфальта (Бахилловское месторождение асфальта, Жигулевские дислокации, Самарский регион); 2) периодические выбросы в атмосферу большого количества вулканической тефры, приводящие к формированию пирокластических отложений (район Авачинского вулкана, Камчатский регион); 3) повышенная геодинамическая активность в пределах участка современной блоковой структуры земной коры, на котором возможен спонтанный восходящий приток флюидов в почву (Истринский морфоструктурный узел, Московский регион); 4) активная фумарольная деятельность, при которой горячая вода и пар могли оказывать влияние на окружающие почвы (Кальдера Головнина, о. Кунашир, Курильский регион). Выявлено, что по максимальным медианным концентрациям полиаренов в почвах рассмотренные конкретные ситуации проявления геологических факторов образуют следующий ряд возрастающих значений: а) экспонирование вулканической тефры как почвообразующей породы (20 нг/г); б) повышенная геодинамическая активность и фумарольная деятельность (85–90 нг/г); в) внедрение асфальта в осадочные породы (4800 нг/г). По разнообразию идентифицированных в почвах полиаренов рассмотренные ситуации выстраиваются в следующий ряд возрастающих значений: а) на участке повышенной геодинамической активности и в районе выпадения вулканической тефры идентифицированы 9 из 11 определявшихся ПАУ; б) на асфальтовом месторождении — 10; в) на участке фумарольной деятельности — все 11.

Ключевые слова: факторы почвообразования, битумоид, углеводороды в почвах, вулканизм, фумаролы, геодинамическая активность

DOI: 10.1134/S0032180X1808004X

ВВЕДЕНИЕ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, полиарены) представляют собой высокомолекулярные органические соединения бензольного ряда, различающиеся по числу колец и особенностям их присоединения. Необходимость изучения полиаренов в почвах обусловлена их канцерогенными и мутагенными свойствами и, соответственно, опасностью для здоровья человека. Кроме того, ПАУ обладают большим информативным потенциалом для понимания сути многих почвенно-геохимических явлений [2].

Полиарены продуцируются в результате разнообразных природных и техногенных процессов и встречаются в различных компонентах ландшафта, в основном, в почвенном покрове, являясь одной из значимых характеристик углеводородного состояния почв. В настоящее время большинство работ посвящено изучению почвенных техногенных ПАУ [14–16]. В то же время существуют природные источники полиаренов, ко-

торые вносят значительный вклад в состав и концентрацию этих соединений в почвах [12].

Такой вклад связан и с геологическим фактором, который может влиять на поступление и распределение ПАУ в почвах либо через воздействие углеводородсодержащих почвообразующих горных пород, либо посредством эманационных углеводородных потоков, исходящих из глубоких слоев земной коры, а также путем выпадения полиаренов из атмосферы, куда они попадают в результате активного выноса глубинного вулканического вещества [6].

Продукты геологических процессов, с которыми связаны полиарены, многообразны. Так, ПАУ входят в состав нефти и битумов [2]. Поэтому появление и трансформация на земной поверхности битумопроявлений приводит к выделению ПАУ в окружающую среду. С локальными зонами высокой геодинамической активности земной коры связано усиление спонтанных потоков флюидов, в которых присутствуют полиарены и с которыми

они могут доставляться в ландшафтную сферу. ПАУ широко распространены в продуктах вулканической и гидротермальной деятельности. В вулканической тефре и других продуктах извержения вулканов обнаружены такие полиарены, как пирен, бенз[а]пирен, флуорантен, бенз[ghi]перилен, перилен, коронен, гомологи флуорена, дифенила, нафталина, фенантрена, бензфлуорена и др. [3, 4, 10]. В термальной воде фумарол камчатских кальдер также идентифицированы перечисленные выше полиарены, в том числе большое количество фенантрена [7, 13].

Цель работы – обобщить и сопоставить полученные ранее авторами фактологические материалы, касающиеся связи полиаренового комплекса почв с тем или иным проявлением геологического фактора [1].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Рассматриваемые данные характеризуют участки территории, в пределах которых имели место следующие геологические явления: 1) приближенные битуминозного вещества к дневной поверхности по разлому земной коры из глубоких слоев осадочных пород с образованием битуминозных песчаников и линз асфальта (Бахилловское месторождение асфальта, Жигулевские дислокации, Самарский регион); 2) периодические выбросы в атмосферу большого количества вулканической тефры, приводящие к формированию пирокластических отложений (район Авачинского вулкана, Камчатский регион); 3) повышенная геодинамическая активность в пределах участка современной блоковой структуры земной коры, на котором возможен спонтанный восходящий приток флюидов в почву (Истринский морфоструктурный узел, Московский регион); 4) активная фумарольная деятельность, при которой горячая вода и пар могли оказывать влияние на окружающие почвы (Кальдера Головина, о. Кунашир, Курильский регион).

Полевые исследования на участках “Жигулевский”, “Камчатский”, “Истринский” и “Кунаширский” проводили в 2013–2016 гг. Физико-географические условия этих участков показаны в табл. 1. Отбор почвенных проб осуществляли по генетическим горизонтам. В лабораторных условиях количественно определяли содержание 11 полиаренов: гомологов нафталина, дифенила, флуорена, антрацена, фенантрена, тетрафена, пирена, хризена, бенз(а)пирена, перилена и бенз(ghi)перилена. ПАУ исследовали методами спектрофлуориметрического анализа при низких температурах (спектроскопия Э.В. Шпольского). Анализ проводили на базе спектрофлуориметра “Флюорат-Панорама” (“Люмэкс”, Санкт-Петербург), дополненного монохроматором “ЛМ-3” и криогенной приставкой “КРИО-1”. Расчет уров-

ней концентрации индивидуальных соединений осуществляли по эталонным спектрам индивидуальных ПАУ в смешанном растворе. Первичные лабораторные данные частично опубликованы ранее [8, 9]. Но в связи с поставленной целью настоящей работы на их основе проведены новые специальные расчеты для получения необходимых для межрегионального сравнения аналитических характеристик почв, а также впервые проведено их обобщение и сопоставление по участкам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Участок “Жигулевский” приурочен к Бахилловскому месторождению асфальта, которое расположено на южных отрогах Жигулевских гор, созданных крупным долгоживущим разломом земной коры. На поверхность в районе месторождения выходят карбонатные породы каменноугольного и пермского возрастов и песчано-глинистые среднеюрские отложения, занимающие отдельные возвышенные участки. На одном из таких участков размером несколько более 1 км² вблизи поверхности находится локальный участок кварцевых песков, сцементированных выветрелым битумом (“гарью”) с линзами асфальта. Асфальт был объектом добычи и в настоящее время практически выработан.

Почвенный покров территории месторождения представлен серогумусовыми почвами, черноземами глинисто-иллювиальными, а также урбиквализемами на наиболее механогенно-нарушенных участках. Последние почвы содержат в себе включения битуминозного песчаника и линз асфальта. За пределами месторождения формируются различные подтипы серогумусовых, темногумусовых и темно-серых почв.

Изучены четыре группы почв: а) непосредственно на участке месторождения, в основном, механогенно-турбированные; б) ненарушенные почвы территории месторождения; в) почвы, прилегающие к территории месторождения в радиусе 0.5–7 км; г) “фоновые” почвы, находящиеся на удалении нескольких км от месторождения.

Аналитические данные показывают, что основная масса ПАУ, привнесенных в почвенный покров вместе с битуминозным веществом из недр, концентрируется в почвах с включениями битуминозных песчаников и линз асфальта на локальном участке месторождения, к которому была приурочена добыча асфальта. Медианное содержание суммы полиаренов здесь достигает 4830 нг/г, а интервалы сумм ПАУ – 515–29280 нг/г. По частоте обнаружения на первых местах находятся гомологи нафталина, антрацен, бенз(а)пирен, пирен, тетрафен, а по медианным концентрациям – гомологи нафталина, дефинил, фенантрен, флуо-

Таблица 1. ПАУ в почвах участка "Жигулевский"

Статистический показатель	Флуорен	Дифенил	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)пирен	Бенз(ghi)перилен	Перилен	Сумма ПАУ
Нарушенные почвы с включениями битуминозных песчаников и линз асфальта (16)*												
Медиана, нг/г	335	2930	3350	1800	296	180	83	204	22	1930	Не обн.	4830
Минимум—максимум, нг/г	154–407	2030–3820	203–9370	36–20103	24–500	110–200	20–670	120–390	0.3–70	–		515–29280
Частота обнаружения, %	37.5	12.5	100	37.5	43.8	18.8	81.3	43.8	75	6.3		100
Ненарушенные почвы территории месторождения (22)*												
Медиана, нг/г	0.7	2.3	6.0	12	0.2	0.4	0.01	0.2	0.04	1.5	Не обн.	24
Минимум—максимум, нг/г	0.2–1.4	1.4–6.8	1–23	1–2240	0.1–1.6	0.1–0.6	0.01–0.1	0.1–0.8	0.02–0.06	0.8–2.6		5–2240
Частота обнаружения, %	45	45	100	100	59	59	36	54	18	18		100
Почвы территории, прилегающей к месторождению; понижения (23)*												
Медиана, нг/г	1	5	11	9	0.7	0.6	0.01	0.5	0.3	6	2	34
Минимум—максимум, нг/г	0.2–3	1–27	3–94	1–40	0.04–9.0	0.1–5.0	0.01–0.2	0.1–2.0	0.1–0.5	2–7	1–3	3–142
Частота обнаружения, %	56	43	100	91	52	43	39	35	9	13	9	100
Почвы территории, прилегающей к месторождению; уплотненные повышения (7)*												
Медиана, нг/г	2	10	15	61	0.7	1.0	0.03	0.6	0.06	Не обн.	1.0	46
Минимум—максимум, нг/г	0.5–3.0		10–20	11–1120	0.02–1.0	0.6–3.0	0.02–0.05	0.3–0.7	0.03–0.1	»	–	18–1130
Частота обнаружения, %	86	14	100	86	57	71	28	43	57	»	14	100
Фоновые почвы (4)*												
Медиана, нг/г	1	7	8	4	0.2	2	0.1	0.7	0.1	Не обн.	Не обн.	15
Минимум—максимум, нг/г	1–2	5–13	6–12	1–21	0.1–1	–	–	0.2–1	–			10–50
Частота обнаружения, %	50	75	100	75	100	25	25	50	25			100

* Количество проб.

рен. В ненарушенных почвах территории месторождения и территории, прилегающей к ареалу месторождения, концентрация ПАУ резко уменьшается — медианные значения сумм полиаренов по группам почв находятся в пределах 24–46 нг/г. По частоте встречаемости в почвах лидируют гомологи нафталина, фенантрен, флуорен; по медианным концентрациям — фенантрен, гомологи нафталина, дифенил. В фоновых почвах медианное значение суммы ПАУ уменьшается до 15 нг/г, а интервалы этих сумм — до 10–50 нг/г. По частоте встречаемости в почвах фоновых участков преобладают хризен, гомологи нафталина, дифенил, фенантрен.

Можно отметить, что большое количество полиаренов, приносимое из недр, в данном случае остается сосредоточенным в почвах на локальном участке приповерхностно залегающих битуминозных песчаников и асфальтовых линз. Латеральное рассеяние этого вещества ограничивается несколькими километрами и проявляется в слабом виде. При этом в почвах различных местоположений по отношению к территории месторождения формируются специфические ассоциации ПАУ.

Участок “Камчатский” приурочен к территории интенсивных пеплопадов, связанных с извержениями вулкана Авачинский. Мощность пепла последнего крупного вулканического извержения, произошедшего в 1945 г., составляет на участке от 10 до 20 см. Почвы подножия вулкана представляют собой переслаивающийся материал гумусовых и пепловых горизонтов мощностью от 1 до 20 см. Гумусовые горизонты, как правило, неоднородны, содержат большое количество включений. Цвет пепловых горизонтов изменяется от белого и светло-желтого до серого и бурого. На глубинах более 1 м в почвах формируется специфический ярко-охристый иллювиально-метаморфический горизонт. На участке “Камчатский” изучены три разреза слоисто-пепловых и слоисто-охристых почв, приуроченных к пирокластическим отложениям в различных частях склона.

В табл. 2 приведены данные о распределении полиаренов в вулканической тефре и материале почвенных горизонтов. Эти данные показывают, что медианные суммы ПАУ в материале почвенных горизонтов и тефре примерно равны — порядка 20 нг/г. В почвенном материале этих углеводородов немного больше, вероятно, в связи с большей сорбционной способностью почв. При этом интервалы сумм заметно шире в вулканической тефре (3–321 нг/г), чем в почвенном материале (6–184 нг/г), что может указывать на определенную гомогенизацию вещества в результате почвенных процессов, например, за счет некоторого перераспределения и сортировки в профиле почв гранулометрических фракций вследствие

деятельности корневых систем и почвенных беспозвоночных. По ассоциациям полиаренов почвенный материал и тефра практически сходны.

По медианным концентрациям в тефре преобладают фенантрен, гомологи нафталина, дифенил. Эти же полиарены и в том же порядке являются доминирующими в почвенном материале. Такое сходство можно объяснить относительно коротким временем формирования рассматриваемых слоисто-пепловых почв, за которое не произошло существенных трансформаций полиаренов под воздействием почвенных процессов.

Участок “Истринский” расположен в пределах Истринского морфоструктурного узла. Морфоструктурные узлы — это элементы современного блокового строения земной коры, в пределах которых наблюдается схождение границ нескольких блоков. Такие территории обладают повышенной геодинамической активностью, интенсификацией денудационных процессов, микросейсмическими явлениями, высокой раздробленностью сходящихся блоков. Границами блоков обычно служат тектонические нарушения, выраженные на поверхности морфоструктурными линеаментами [11]. К морфоструктурным узлам в сейсмических районах приурочены эпицентры крупных землетрясений, а в нефтегазоносных бассейнах крупные залежи нефти и газа. Истринский морфоструктурный узел находится на пересечении субширотного Гжатского и северо-восточного Можайско-Загорского разломов земной коры. Узел располагается в районе г. Истра Московской области. По структуре он разделяется на внутреннюю, наиболее активную часть, где пересекаются образующие его линеаменты (внутренний узел), и остальную его территорию — внешний узел [5]. В пределах узла наиболее активные участки — морфоструктурные линеаменты внутреннего и внешнего узлов, а самые стабильные зоны — внутренние части блоков внешнего узла.

На участке “Истринский” исследованы почвы пойм. Преобладающими типами здесь являлись аллювиальные гумусовые глеевые почвы с наличием на глубинах от 18 до 45 см неоднородного по цвету, сизовато-серого с охристыми пятнами, мокрого, суглинистого горизонта.

В табл. 3 приведены данные по распределению ПАУ в аллювиальных почвах трех выделенных зон на территории узла. Видно, что в почвах линеаментов медианные значения суммы полиаренов во внутреннем узле достигают 90 нг/г, что превышает значения этих сумм в разностях почв того же генезиса, но приуроченных к внутренним частям блоков, в 1.5 раза.

В почвах внутренних частей блоков по частоте встречаемости лидируют четыре полиарена, причем во всех пробах обнаруживаются только фенантрен и гомологи нафталина, а хризен и пирен —

Таблица 2. ПАУ в почвах у подножья вулкана Авача (Камчатка)

Статистический показатель	Флуорен	Дифенил	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)пирен	Бенз(ghi)перилен	Перилен	Сумма ПАУ
Вулканическая тефра (27*)												
Медиана, нг/г	Не обн.	6	18	19	0.1	0.5	0.1	0.3	Не обн.	0.2	Не обн.	18
Минимум–максимум, нг/г		1–10	2–130	1–130	0.1–0.3	0.1–15	–	0.1–45.0		–		3–321
Частота обнаружения, %		22	100	78	14.8	89	4	30		4		100
Материал почвенных горизонтов (8*)												
Медиана, нг/г	0.8	2	7	10	0.1	0.4	0.1	0.3	0.1	Не обн.	1.0	21
Минимум–максимум, нг/г	0.1–1.6	1–12	2–50	4–132	–	0.2–2.0	–	–	–		–	6–184
Частота обнаружения, %	37.5	50	100	87.5	25	100	12.5	12.2	12.5		12.5	100

* Количество проб.

лишь в двух третях проб. По медианным концентрациям в почвах блоков преобладают те же полиарены, а также тетрафен. Состав ПАУ в почвах линеаментов внутреннего узла по сравнению с почвами блоков выделяется большей однородностью: в 100% почвенных проб определены фенантрен, гомологи нафталина, пирен, тетрафен, что может указывать на подверженность почв линеаментов преимущественному воздействию одного и того же фактора. В данном случае в качестве такового логично рассматривать приток в почвы углеводородного аллохтонного вещества из глубоких участков земной коры, при этом на самых активных участках действие этого фактора выражено более отчетливо.

Степень однородности состава полиаренов в почвах линеаментов внешнего морфоструктурного узла выражена в несколько меньшей степени по сравнению с почвами внутреннего узла, но в большей мере по сравнению с почвами внутренних частей блоков. Специфической особенностью почв линеаментов является также появление в составе ПАУ тяжелого бенз(ghi)перилена, генерация которого в почвах маловероятна, но который может попадать в почвенный покров с восходящими флюидами из глубинных зон земной коры.

Таким образом, аналитические данные предоставляют аргументы в пользу того, что геодинамическая активность в рассматриваемой ситуации

влияет на состав и концентрацию полиаренов в аллювиальных почвах участка исследования.

Участок “Кунаширский” находился на о. Кунашир (Курильские острова) в пределах кальдеры Головинна. Здесь исследовано два разреза серогумусовых метаморфизированных почв: они находились на расстоянии 600 и 2400 м от озера Кипящего – наиболее активного участка сольфатарной и гидротермальной деятельности в кальдере. Особенностью этих почв является наличие погребенных горизонтов, а также прослоев вулканического шлака и пепла. Для серогумусовой почвы, расположенной в 2.4 км от fumarol, в отличие от почвы, расположенной в 0.6 км, характерно меньшее количество включений пирокластического материала и лучшая степень оструктуренности горизонтов.

В табл. 4 представлена информация о полиаренах в почвах на разных расстояниях от озера Кипящее. Данные показывают определенную тенденцию в изменении содержаний рассматриваемых веществ в почвах при удалении от озера. Медианные значения суммы ПАУ на расстоянии 0.6 км равняются 85 нг/г при интервале сумм полиаренов 49–160 нг/г, тогда как в почвах на расстоянии 2.4 км эти значения заметно уменьшаются и становятся равными 43 и 26–106 нг/г.

В менее удаленной почве (дистанция 0.6 км) и по частоте обнаружения и, особенно, по медианным концентрациям с большим опережением

Таблица 3. ПАУ в почвах территории Истринского морфоструктурного узла

Статистический показатель	Флуорен	Дифенил	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)пирен	Бенз(ghi)перилен	Перилен	Сумма ПАУ
Линеанты во внутреннем узле (10)*												
Медиана, нг/г	Не обн.	40	30	20	3	3	1.0	2.0	0.3	3	Не обн.	90
Минимум—максимум, нг/г	—	—	7–80	2–130	2–6	1.3–100	0.01–2.0	0.4–4.0	<0.01–0.4	3–7	—	34–180
Частота обнаружения, %	10	10	100	100	30	100	60	100	60	40	—	100
Линеанты во внешнем узле (10)*												
Медиана, нг/г	3.0	Не обн.	40	50	6	3	0.5	2.0	0.4	7	2	60
Минимум—максимум, нг/г	—	—	10–100	2–300	4–10	1–10	<0.01–3.0	0.2–3.0	0.02–1.0	4–10	—	44–440
Частота обнаружения, %	10	—	100	70	60	100	90	80	70	40	20	100
Блоки в узле (9)*												
Медиана, нг/г	0.2	Не обн.	20	20	0.6	0.6	<0.01	0.7	<0.01	Не обн.	3	60
Минимум—максимум, нг/г	—	—	5–64	3–140	0.3–20.0	0.4–4.0	0.002–0.8	0.2–0.7	<0.01–0.15	—	—	10–170
Частота обнаружения, %	11	—	100	100	67	67	44	56	56	—	11	100

* Количество проб.

Таблица 4. ПАУ в почвах вблизи озера Кипящее (кальдера Головнина, о. Кунашир)

Статистический показатель	Флуорен	Дифенил	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)-пирен	Бенз(ghi)-перилен	Перилен	Сумма ПАУ
В 0.6 км от фумарол (4)*												
Медиана, нг/г	13	0.5	54	45	1	3	1	0.5	0.2	4	1	85
Минимум–максимум, нг/г	8–18	–	18–103	9–53	–	1–5	0.5–1.4	–	–	3–4	–	49–160
Частота обнаружения, %	50	25	100	75	25	50	50	50	25	50	25	100
В 2.4 км от фумарол (4)*												
Медиана, нг/г	10	2	21	9	1	1	0.5–1.5	0.2	0.2	5	Не обн.	43
Минимум–максимум, нг/г	4–15	–	16–25	4–24	–	0.5–59	1	–	–	3–7		26–106
Частота обнаружения, %	50	25	100	75	50	100	50	50	25	50		100

* Количество проб.

превалируют гомологи нафталина и фенантрен. Здесь присутствует практически в чистом виде ассоциация эти двух ПАУ. В почве, более удаленной от фумарол (2.4 км), ассоциация ПАУ оказывается несколько более разнообразной – по частоте обнаружения кроме фенантрена и гомологов нафталина выделяется пирен, а по медианным концентрациям – флуорен.

Источником ПАУ на рассматриваемой территории, вероятнее всего, являются вода и пар, исходящие от озера. Температура воды в озере около 100°C. В водах фумарол с такой температурой на Камчатке и в других вулканических регионах мира обнаружены различные полиарены [7, 13]. Возможно, некоторое увеличение разнообразия полиаренов в исследованных почвах при удалении от их источника обусловлено ослаблением доминирующего фактора и относительным усилением действия других факторов преобразования ПАУ, в том числе связанных с превращениями полиаренов под действием внутрипочвенных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состав и распределение ПАУ в почвах, подверженных влиянию различных проявлений геологического фактора, отражают как особенности этих факторов, так и специфичность свойств почв.

Вблизи земной поверхности на месте вторжения из глубоких слоев литосферы битуминозного вещества, образовавшего асфальтовое месторождение, остается большое количество полиаренов,

которые локализуются на ограниченном пространстве, включающем почвенный покров. Латеральное рассеяние этого вещества весьма ограничено и проявляется в слабом виде. При этом в почвах различных местоположений по отношению к территории месторождения формируются специфические ассоциации ПАУ.

В почвах территории морфоструктурного узла максимальные концентрации полиаренов приурочены к самым активным участкам блоковой структуры земной коры – границам между блоками. Внутри самих блоков – более стабильных участков морфоструктурных узлов – концентрация полиаренов в почвах ниже. Состав ПАУ в почвах линейных элементов по сравнению с почвами блоков выделяется большей однородностью, что может указывать на преимущественную подверженность почв линейных элементов воздействию какого-то одного определяющего фактора, в данном случае – притока в почвы углеводородного аллохтонного вещества из глубоких участков земной коры.

В рассмотренном районе активной вулканической деятельности основным источником полиаренов в почвах является тефра, поступающая в атмосферу во время извержений вулканов и осаждающаяся на земную поверхность. При этом по ассоциациям ПАУ почвенный материал и тефра оказались практически сходными, что можно объяснить относительной молодостью пирокластических почвообразующих пород и соответственно коротким временем формирования рассматриваемых почв, за которое не успело произой-

ти существенных трансформаций полиаренов под воздействием почвенных процессов.

На изученном участке активной поствулканической деятельности полиарены в почвы поступают с водой и паром перегретых фумарол. Об этом свидетельствует определенный тренд уменьшения содержания ПАУ в почвенной толще при удалении от источника. Кроме того, с возрастанием дистанции от источника в почвах несколько увеличивается их разнообразие, что может быть обусловлено ослаблением влияния доминирующего фактора и активизацией других факторов преобразования ПАУ, в том числе, связанных с внутриспочвенными процессами.

По максимальным медианам концентрации полиаренов в почвах рассмотренные конкретные ситуации проявления геологических факторов образуют следующий ряд возрастающих значений: а) экспонирование вулканической тефры как почвообразующей породы (20 нг/г); б) повышенная геодинамическая активность и фумарольная деятельность (85–90 нг/г); в) внедрение асфальта в осадочные породы (4800 нг/г). По разнообразию идентифицированных в почвах полиаренов рассмотренные ситуации выстраиваются в следующий ряд возрастающих значений: а) на участке повышенной геодинамической активности и в районе выпадения вулканической тефры идентифицированы 9 из 11 определявшихся ПАУ; б) на асфальтовом месторождении – 10; в) на участке фумарольной деятельности – все 11. Очевидно, что полученные ряды могут нести в себе некоторый элемент случайности и при других количественных параметрах тех же воздействующих геологических факторов эти ряды могут видоизмениться. В то же время для конкретных рассмотренных ситуаций их последовательность в рядах объяснима, если иметь в виду генезис и объемы несущих полиарены потоков, а также длительность и специфичность воздействия этих потоков на почвы.

Благодарность. Обобщение и сравнительный анализ данных по участкам проведены за счет Российского научного фонда, проект РНФ № 14-17-00193-П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Жидкин А.П., Ковач Р.Г., Кошовский Т.С., Смирнова М.А., Хлынина Н.И., Цибарт А.С. Факторы и модификации углеводородного состояния почв // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1314–1329. doi 10.7868/S0032180X15110076
2. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах / Под ред. А.Н. Геннадиева, Ю.И. Пиковского М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 188 с.
3. Гептнер А.Р., Алексеева Т.А., Пиковский Ю.И. Полициклические ароматические углеводороды в свежих гидротермально измененных вулканитах Исландии // Доклады Академии наук. 1999. Т. 31. № 5. С. 667–670.
4. Гептнер А.Р., Пиковский Ю.И., Протасевич Л.Т. и др. Минерализованная микробиота: возможные индикаторы углеводородных потоков в рифтовой зоне Исландии // Литология и полезные ископаемые. 2003. Т. 38. № 6. С. 509–521.
5. Гласко М.П., Раницман Е.Я. О современной блоковой структуре равнинно-платформенной территории (на примере Истринского морфоструктурного узла) // Доклады АН СССР. 1988. Т. 300. № 6. С. 1345–1348.
6. Пиковский Ю.И., Карпов Г.А., Оглоблина А.И. Полициклические ароматические углеводороды в продуктах Узонской гидротермальной системы (в связи с генезисом Узонской нефти на Камчатке) // Геохимия. 1987. № 6. С. 869–876.
7. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 208 с.
8. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Ковач Р.Г., Жидкин А.П., Хлынина Н.И., Кисилева А.Ю. Углеводородное состояние почв территории асфальтового месторождения (Самарская Лука) // Почвоведение. 2017. № 4. С. 427–437. doi 10.7868/S0032180X17040074
9. 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. doi 10.7868/S0032180X17120085
10. Подклетнов Н.Е. Вулканогенное органическое вещество. М.: Наука, 1985. 128 с.
11. Раницман Е.А., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы – места экстремальных природных явлений. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 224 с.
12. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, диагностическое значение (обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 788–802. doi 10.7868/S0032180X13070125
13. Gепtner A.R., Richter B., Pиковskii Y.I., Chernyansky S.S., Alekseeva T.A. Polycyclic aromatic hydrocarbons as evidence of hydrocarbon migration in marine and lagoon sediments of a recent rift zone (skjálíandi and öxarfjörður), iceland. Chemie der Erde // Geochemistry. 2006. V. 66. № 3-4. P. 213–225.
14. Johnsen A., Karlson U. Diffuse PAH contamination of surface soils: environmental occurrence, bioavailability, and microbial degradation // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2007. V. 76. P. 533–543.
15. Srogi K. Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review // Environ. Chem. Lett. 2007. V. 5. P. 169–195.
16. Wilcke W. Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil // Geoderma. 2007. V. 141. P. 157–166.