

УДК [504.43+504.73]:547.912

УЧАСТИЕ РАСТЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ТОРФЯНИКОВ

© 2020 г. Е. В. Яковлева^а, *, Д. Н. Габов^а, Р. С. Василевич^а, Н. Н. Гончарова^а^аИнститут биологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения РАН,
ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

*e-mail: kaleeva@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 10.04.2019 г.

После доработки 02.07.2019 г.

Принята к публикации 20.10.2019 г.

Оценен современный состав полициклических ароматических углеводородов растительности естественных бугристых болот лесотундровой подзоны Республики Коми, определена возможность его влияния на формирование состава полиаренов торфа. Определение содержания полиаренов проводилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Установлено, что максимальным накоплением полициклических ароматических углеводородов среди исследованных видов отличались *Polytrichum strictum*, *Betula pubescens* и побеги *Picea abies*, в меньшей степени полиарены содержались в *Betula nana* L., *Salix lapponum* L. и *Carex limosa* L. В составе растений преобладали легкие полиарены. Дибенз[a,h]антрацен и бенз[ghi]перилен в растениях не обнаружены – их образование могло быть связано с почвообразовательными процессами. Показаны сходные закономерности в профилном распределении полициклических ароматических углеводородов в почвах мерзлотных бугров (Hemic Follic Cryic Histosols) и мочажин (Fibric Floatic Histosols). Они выражались в незначительном накоплении в основном низкомолекулярных полиаренов в сезонно-талом слое, резком возрастании содержания тяжелых структур (главным образом бенз[ghi]перилена) на границе многолетней мерзлоты, и некотором снижении их массовой доли непосредственно в мерзлотных горизонтах. Состав полициклических ароматических углеводородов торфяников в основном определяется составом полиаренов растительности до глубины прохождения границы сезонно-талого слоя, где происходил активный синтез или высвобождение тяжелых структур. На степень воздействия состава полициклических ароматических углеводородов растений на их содержание в торфе значительное влияние оказывала степень его разложения. На основании рассмотрения природной модели образования торфа мочажин показано, что состав полиаренов торфа болотных переходных почв мочажин верхних горизонтов обусловлен перекombинацией легких структур углеводородов, входящих в состав *Sphagnum riparium* и *Eriophorum* sp. В процессе длительного формирования почв, разложения сложных органических веществ растений, главным образом, *Eriophorum* sp., начинают формироваться тяжелые структуры полициклических ароматических углеводородов и возрастает содержание легких полиаренов.

Ключевые слова: полиарены, природная модель, торфяники, Hemic Follic Cryic Histosols, Fibric Floatic Histosols

DOI: 10.31857/S0032180X20030107

ВВЕДЕНИЕ

В болотных экосистемах происходит постоянный обмен минеральными и органическими элементами между растениями и торфяной почвой. Темпы разложения растительных остатков и высвобождения из них элементов питания зависят от индивидуальных особенностей химического состава растений и условий, в которых эти процессы протекают. Наиболее устойчивы к разложению сфагновые мхи, наименее – травянистые растения. Кустарнички характеризуются средней

скоростью разложения [7]. По данным [25] торфяные болота богатые мхами, кустарниковыми и древесными растениями накапливают больше торфа, чем водно-болотные угодья, где доминируют злаки. Высокие потенциалы накопления торфа авторы связывают с низкими скоростями разложения.

Наиболее интенсивные процессы деструкции растительных остатков протекают на начальном этапе разложения, затем их скорость снижается [7]. Авторами показано, что количество запасаемого

в процессе фотосинтеза углерода значительно превышает потери углерода при разложении растительных остатков как для отдельных видов растений, так и для фитоценоза в целом. Болотные экосистемы характеризуются более низкими по сравнению с продуктивностью скоростями трансформации органического вещества растений, за счет чего и происходит постоянное накопление органического вещества в виде торфа.

Принято считать, что торф состоит из легкоразлагаемых соединений, например, полисахаридов и устойчивых веществ, таких как лигнин, и сложных ароматических соединений, а также продуктов их взаимной трансформации и комбинации, таких, как гумусовые вещества. Химический состав торфа является результатом комбинации химического состава болотных растений и микроорганизмов, почвенных вод и вторичных веществ, образующихся при разложении. Торф формируется в результате процессов накопления и распада растительных остатков. После отмирания растения его остатки начинают преобразовываться анаэробно, в то время как новый материал накапливается над ними, так что основные структурные элементы теряют свою целостность и уплотняются под весом нового растительного материала [21].

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – токсичные, мутагенные, канцерогенные соединения [13, 16, 18] с одной стороны и необходимые органические компоненты для растений с другой, в значительных количествах присутствуют в составе торфа. По данным Пастухова [11], высокая химическая устойчивость ПАУ в сочетании с кислотой и анаэробной средой торфяной залежи способствует их слабой деградации. Низкая водорастворимость полиаренов увеличивает их сорбцию почвенными частицами и ограничивает доступность для микробиологического разложения. Некоторые авторы утверждают, что с увеличением времени пребывания ПАУ в почвах их экстракционная способность, разлагаемость и токсичность уменьшаются [28]. Модельный эксперимент по разложению 10 ПАУ (фенантрена, флуорантена, пирена, бензо[а]антрацена, хризена, бензо[б]флуорантена, бензо[к]флуорантена, бензо[а]пирена, индено[1,2,3-сd]пирена и бензо[ghi]перилена) в торфе показал, что содержание данных полиаренов в течении 33-х месяцев не изменялось от исходного уровня. Эксперимент проводили в аэробных и анаэробных условиях при температуре 15°C в темноте [26]. Другими авторами было показано, что при разложении *Sphagnum* в лабораторных условиях, содержание ПАУ в нем снижалось на 50% через 120 дней [27].

Исследование шестнадцати гуминовых кислот и одной фракции гумина, выделенных из торфяной почвы, на содержание ПАУ, показали, что гумин является основным поглотителем ПАУ в

почве благодаря своему химическому составу, богатому алифатическим углеродом, и высококонденсированной физической структуре его углеродных доменов. Авторы связывают с этим фактом устойчивость и слабую биоразлагаемость ПАУ в торфяниках [22]. Другие авторы предлагают использовать торф в качестве сорбента для очистки вод от ПАУ [29].

Из-за устойчивости соединений, присутствующих в торфяных болотах, они являются природными архивами загрязнения атмосферы. Профили торфяников используются для изучения хронологии осаждения вредных загрязняющих веществ, в том числе полиаренов [20, 26].

Цель работы – исследовать состав ПАУ доминантных растений бугристых болот и определить возможность его влияния на формирование состава ПАУ торфа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в подзоне лесотундры Республики Коми в бассейне р. Уса в области распространения массивно-островной многолетней мерзлоты. Территория представляет собой полого-увалистую лесотундровую равнину, покрытую чехлом покровных пылеватых суглинков [9]. Климат умеренно континентальный, среднегодовая температура воздуха по метеостанции г. Воркута – минус 5.8°C, среднегодовое количество осадков – 550 мм [3]. Бугристые болота широко распространены в тундре и лесотундре и занимают обширные площади на плоскоравнинных водоразделах, в депрессиях ледникового происхождения [2]. Болотные почвы крайнего севера возникли в голоцене в период климатического оптимума, торфонакопление протекало по низинному типу [12]. Со временем массивы торфяников под влиянием водной эрозии, криогенных и термокарстовых процессов превратились в мочажинно-бугристые торфяники.

Согласно комплексному гидролого-морфологическому подходу, исследованное болото относится к типу плоскобугристых, или “flat palsa mire” [24]. В соответствии с ботанико-географическими принципами [14] болото принадлежит к типу травяно-лишайниковых северо-восточно-европейских болот: травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых на буграх, пушицево-осоково-сфагновых и осоковых в понижениях. Болото характеризуется хорошо выраженным микрорельефом, в значительной степени обусловленным мерзлотными процессами. Около 60% массива занимает повышения или бугры, остальное пространство – мочажины, топи, обводненные ложбины стока и вторичные озера. Микрорельефом вызвана и комплексность растительного покрова. Преобладают плоские бугры высотой 0.8–1 м, ре-

же – выше. Мощность сезонно-талого слоя (СТС) варьирует от 40 до 50 см (максимальная глубина протаивания СТС зафиксирована в сентябре). Нижняя граница многолетней мерзлоты почв мочажин расположена на глубине 190 см и приходится на материнскую почвообразующую породу. Бугры имеют округлую или овальную форму, их размеры в поперечнике варьируют от 10–15 до 20–45 м. Поверхность бугров ровная или мелкокочковатая. На отдельных буграх в результате деградации мерзлоты формируются блюдцеобразные понижения с влаголюбивой растительностью.

Видовой состав растений исследованного болота крайне беден, по предварительным данным он насчитывает около 60 видов, включая высшие сосудистые растения, мхи и лишайники. Основу флороценотического комплекса составляют бореальные и гипоарктические виды (*Betula nana*, *Ledum palustre*, *Rubus chamaemorus*, *Eriophorum russeolum* и др.). Из арктических активен только *Carex rotundata*. Обильно представлен состав мохово-лишайникового покрова (около 40 видов). Для понижений характерны мхи, среди них преобладают сфагновые – *Sphagnum lindbergii*, *S. riparium*, *S. balticum*, *S. jensenii*, *S. angustifolium*, гипновые представлены 1–3 видами (*Warnstorfia exannulata*, *W. fluitans*, *Straminergon stramineum*). Напочвенный покров бугров заметно богаче. Среди мхов здесь доминируют виды р. *Dicranum*, *Polytrichum strictum*, *Aulacomnium palustre*, *A. turgidum*, *S. fuscum*, *S. russowii*. Среди лишайников преобладают представители родов *Cladina*, *Cetraria* и *Flavocetraria*. Ряд видов относится к лекарственным и хозяйственно-ценным (например, *Ledum palustre*, *Rubus chamaemorus*, *Vaccinium uliginosum*, *Menyanthes trifoliata*).

Исследования проведены в пределах бугристо-мочажинного (топяного) комплекса. Типы почв – торфяная олиготорфная мерзлотная почва бугров (Hemic Follic Cryic Histosols) и болотная переходная остаточная низинная почва мочажин (Fibric Floatic Histosols). Разрезы глубиной 2 м заложены в 7 км к юго-западу от ст. Сейда в моренной пониженной равнине. Диаметр бугра составил 12 м. Отбор и пробоподготовка торфа проведены согласно ГОСТ 17644-83, ГОСТ 11306-2013. С поверхности болота отбирали растения в трехкратной повторности. Отбор доминантных видов был основан на анализе ботанического состава торфа (табл. 1, 2).

На буграх были отобраны виды: *Polytrichum strictum* Brid., *Eriophorum vaginatum* L., *Betula nana* L. В мочажинах – *Sphagnum riparium* Angstr., *Carex limosa* L., *Eriophorum russeolum* Fries, ветви и листья *Salix lapponum* L. Вблизи топи – *Comarum palustre* L., *Carex aquatilis* L., *Equisetum fluviatile* L. По краям болота – ветви и листья *Betula pubescens* Ehrh. и побеги *Picea abies* L. возраста 1–7 лет. Образцы почв и растений высушивали при комнатной тем-

пературе, измельчали и проводили химический анализ на содержание полиаренов. Химикоаналитические исследования почв и растений выполняли в ЦКП “Хроматография” Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Для извлечения ПАУ из почв и растений использовали систему ускоренной экстракции растворителями ASE-350 (Dionex Corporation, США). Пробу почвы или растения массой 1 г помещали в экстракционную ячейку и трижды экстрагировали смесью хлористый метилен: ацетон (1 : 1) при температуре 100°C. Затем экстракты концентрировали с применением аппарата Кудерна–Даниша при температуре в термостате 70°C и заменяли растворитель на гексан. Полученный концентрат пробы объемом 3 см³, очищали от неорганических примесей методом колоночной хроматографии, с использованием оксида алюминия(II) степени активности по Брокману. В качестве элюента использовали 50 см³ смеси гексан: хлористый метилен (4 : 1). Элюат концентрировали с применением аппарата Кудерна–Даниша при температуре в термостате 85°C, до объема 5 см³, затем добавляли 3 см³ ацетонитрила и упаривали при температуре 90°C до полного удаления гексана. Концентрат пробы в ацетонитриле анализировали на содержание ПАУ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Контроль точности результатов измерений проводили с использованием стандартного образца Certified reference material BCR-683 (European commission community bureau of reference) для растений и Standard Reference Material 1944 New York/New Jersey Waterway Sediment (National Institute of Standards & Technology, USA) для почв [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В растениях тундровых бугристых болот обнаружено 11 структур ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз[а]антрацен, бензо[б]флуорантен, бензо[к]флуорантен, бенз[а]пирен (табл. 3). Полиарены в растениях были представлены в основном легкими 2–4-ядерными структурами, их доля от общей суммы ПАУ варьировала в диапазоне 96–100% для растений разных видов. Выявлена высокая степень корреляции между составом ПАУ растений разных видов, коэффициенты варьируют от $r = 0.63$ до 1.00 (при $n = 11$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.55$). Максимальные коэффициенты корреляции $r = 0.99$ –1.00 были обнаружены между *Sphagnum riparium*, осоками и пушицами, еще в одну группу выделяются *Betula nana*, побеги *Picea abies*, *Salix lapponum* и *Betula pubescens*. Тесно коррелировал состав ПАУ *Comarum palustre* и *Equisetum fluviatile* ($r = 0.99$). Составы ПАУ листьев *Salix lapponum* и *Betula pubescens* также коррелировали между собой.

Таблица 3. Массовая доля индивидуальных ПАУ в растениях разных видов, нг/г (над чертой — среднее значение, под чертой — стандартное отклонение среднего, все пробы проанализированы в трехкратной повторности)

ПАУ	<i>Sphagnum riparium</i>	<i>Polytichum strictum</i>	<i>Equisetum flaviviale</i>	<i>Comarum palustre</i>	<i>Carex limosa</i>	<i>Carex aquatilis</i>	<i>Eriophorum russesolum</i>	<i>Eriophorum vaginatum</i>	<i>Betula nana</i>	<i>Salix lapponum</i> , листья	<i>Salix lapponum</i> , ветви	<i>Betula pubescens</i> , листья	<i>Betula pubescens</i> , ветви	<i>Picea abies</i> , 1–7 лет
Нафталин	56.9/2.6	368.5/18.0	56.2/2.5	55.9/4.8	89.2/0.7	39.5/3.0	64.7/2.1	69.9/4.3	242.7/13.5	44.2/2.0	232.1/4.6	41.5/1.9	346.5/6.5	378.6/73.7
Флуорен	6.8/0.3	6.5/0.2	4.3/0.2	5.1/0.6	8.7/0.5	4.7/0.1	7.9/0.5	6.9/0.6	5.6/0.1	4.6/0.2	4.3/0.0	3.5/1.1	5.1/0.0	6.3/2.0
Фенантрен	55.1/7.0	28.9/1.6	28.6/3.6	30.8/3.3	70.5/6.8	44.9/7.5	55.4/3.4	53.4/14.5	19.4/3.5	51.8/6.6	18.2/1.2	43.8/5.6	22.0/1.2	21.5/4.8
Антрацен	0.7/0.2	1.0/0.4	0.9/0.3	0.9/0.4	1.4/0.9	2.6/2.7	1.6/0.4	0.8/0.6	1.0/0.5	0.5/0.1	1.9/0.0	0.5/0.1	1.8/0.0	0.6/0.1
Флуорантен	6.5/1.2	8.1/0.2	7.4/1.4	8.6/0.7	10.5/1.7	6.3/0.3	14.8/0.3	7.5/1.8	4.4/0.3	13.3/2.5	7.4/0.2	16.5/3.0	2.2/0.1	5.6/1.1
Пирен	4.8/0.8	5.4/0.4	7.3/1.2	10.3/0.6	6.3/1.7	6.0/1.5	10.7/1.7	9.3/1.9	2.6/3.2	11.3/0.2	4.8/0.1	18.8/2.9	11.0/0.3	4.0/1.1
Бенз[а]антрацен	1.1/0.2	3.4/1.1	0.6/0.3	1.0/0.3	0.8/0.4	0.9/0.1	1.3/0.2	1.1/0.2	0.2/0.3	0.7/0.1	0.0/0.0	1.5/0.3	0.4/0.0	0.1/0.1
Хризен	2.0/0.3	3.4/0.1	0.6/0.1	2.2/0.3	1.9/0.1	2.1/0.5	3.3/0.3	2.4/0.5	0.5/0.7	0.7/0.1	1.7/0.0	2.8/0.4	1.9/0.0	0.5/0.2
Бенз[б]флуорантен	0.0/0.0	6.3/0.9	0.0/0.0	0.0/0.0	0.5/0.6	0.9/1.1	0.7/0.8	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	3.5/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0
Бенз[к]флуорантен	0.6/0.02	1.5/0.5	0.0/0.0	0.5/0.2	0.4/0.1	0.5/0.1	0.7/0.2	0.4/0.04	0.1/0.2	0.5/0.0	0.0/0.0	0.4/0.0	0.3/0.0	0.0/0.0
Бенз[а]пирен	0.2/0.2	1.7/0.4	0.4/0.5	0.8/0.3	0.7/0.3	0.0/0.0	0.6/0.2	0.3/0.4	0.1/0.2	0.0/0.0	0.0/0.0	0.9/1.0	0.0/0.0	0.0/0.0
ΣПАУ	134.7/5.4	434.7/21.3	106.3/5.7	116.1/1.7	190.9/12.7	108.4/5.1	161.6/8.2	152.1/15.5	276.7/21.9	127.4/6.9	270.5/18.5	133.5/7.2	391.2/28.1	417.2/80.3

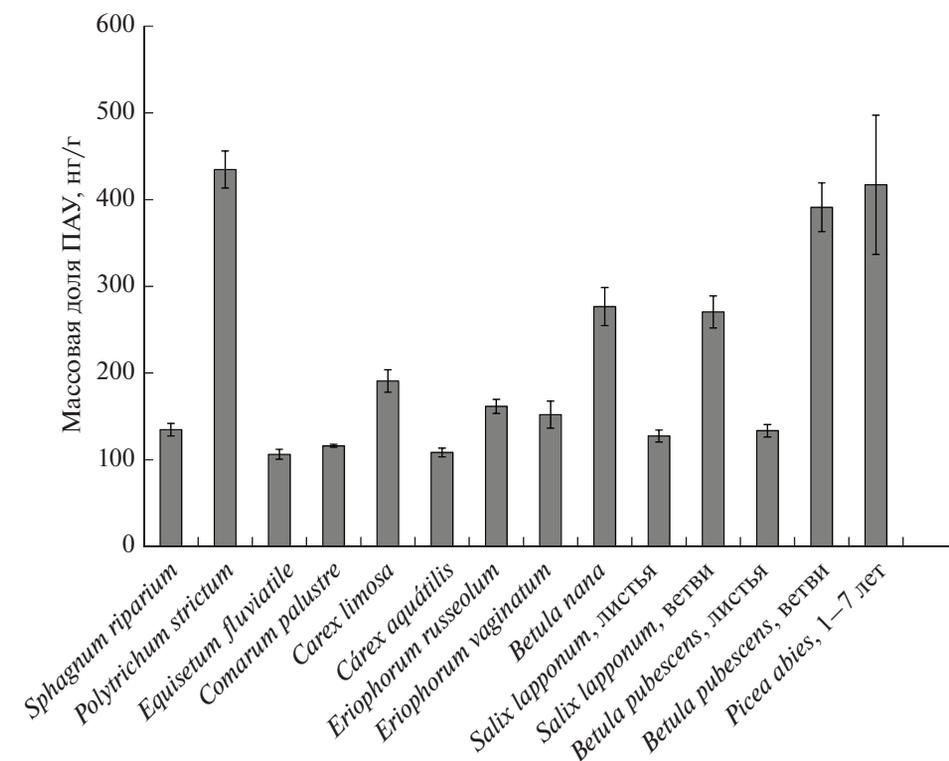


Рис. 1. Содержание ПАУ в растениях бугристых болот.

Максимальное содержание ПАУ среди растений бугристых болот было выявлено в *Polytrichum strictum*, побегах *Picea abies*, ветвях *Betula pubescens*, в меньшей степени в ветвях *Salix lapponum* и *Betula nana* (рис. 1).

Для этих растений было характерно повышенное содержание нафталина, массовая доля которого составляла от 85 до 91% от всей массы ПАУ в растениях. Для травянистых растений, *Equisetum fluviatile*, *Sphagnum riparium*, листьев *Salix lapponum* и *Betula pubescens* значения содержания ПАУ были близкими, в 2–4 раза меньше по сравнению с растениями-аккумуляторами, содержание нафталина в данных видах варьировало от 31 до 53%.

Растения напочвенного покрова и растительный опад служат основой формирования почв. Растительные остатки подвергаются разложению грибами и бактериями, поэтому состав ПАУ в процессе разложения может модифицироваться. При этом могут происходить значительные изменения в составе ПАУ торфяников. Согласно данным датировки, торфонакопление в исследуемых торфяниках началось в раннеатлантический период в условиях эвтрофного низинного болота со скоростью накопления ≈ 0.5 мм/год. Во время атлантического климатического оптимума прирост торфа значительно увеличился и к позднеатлантическому периоду достигал 6.6 мм/год. При переходе к суббореальному периоду с более холодным и

сухим климатом скорость прироста торфа значительно снижалась до 0.2–0.4 мм/год [4, 6]. Полученные данные совпадают с результатами обзора литературы, показывающего, что в бореальной области долговременные темпы роста целинных торфяников обычно различаются от 0.2 до 1.5 мм/год [21]. В составе современной растительности бугров доминировали *Betula nana*, *Polytrichum strictum*, *Eriophorum russeolum*.

В почвах бугров и мочажин выявлено присутствие 14 ПАУ (рис. 2, 3), кроме полиаренов, обнаруженных в исследованных растениях, присутствовали аценафтен, дибенз[а, h]антрацен и бенз[ghi]перилен. Для лучшей визуализации рисунок представлен без учета бенз[ghi]перилена в торфе из-за его высокого содержания.

В процессе микробиологического разложения растений формировались тяжелые структуры ПАУ, они могли образовываться из более сложных органических соединений, присутствовавших в растениях, в том числе пентациклических терпенов, ароматических структур, а также структур с диеновыми или полиеновыми связями в алифатических углеводородных цепях, липидах [10, 15, 17, 28]. Другими авторами показано, что аценафтен, флуорен, пирен, дибенз[а, h]антрацен, нафталин и бенз[ghi]перилен имеют преимущественно биогенное происхождение и образуются в восста-

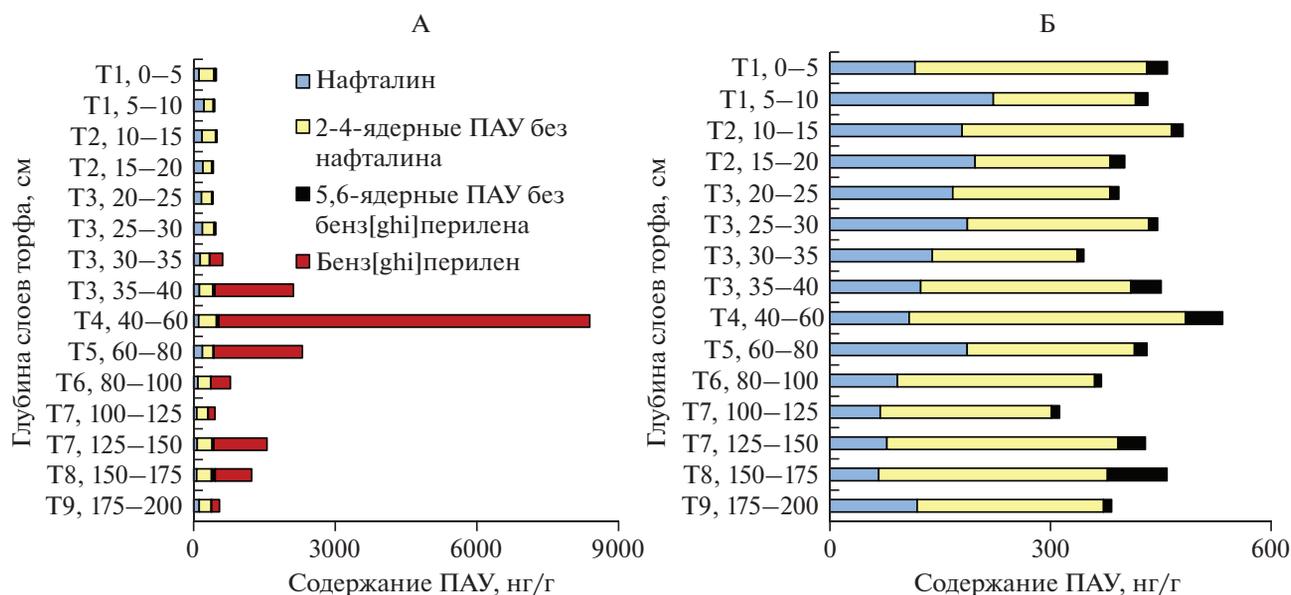


Рис. 2. Содержание ПАУ в разных слоях торфа торфяной олиготорфной мерзлотной почвы бугров: А – содержание всех ПАУ, В – содержание ПАУ без бенз[ghi]перилена.

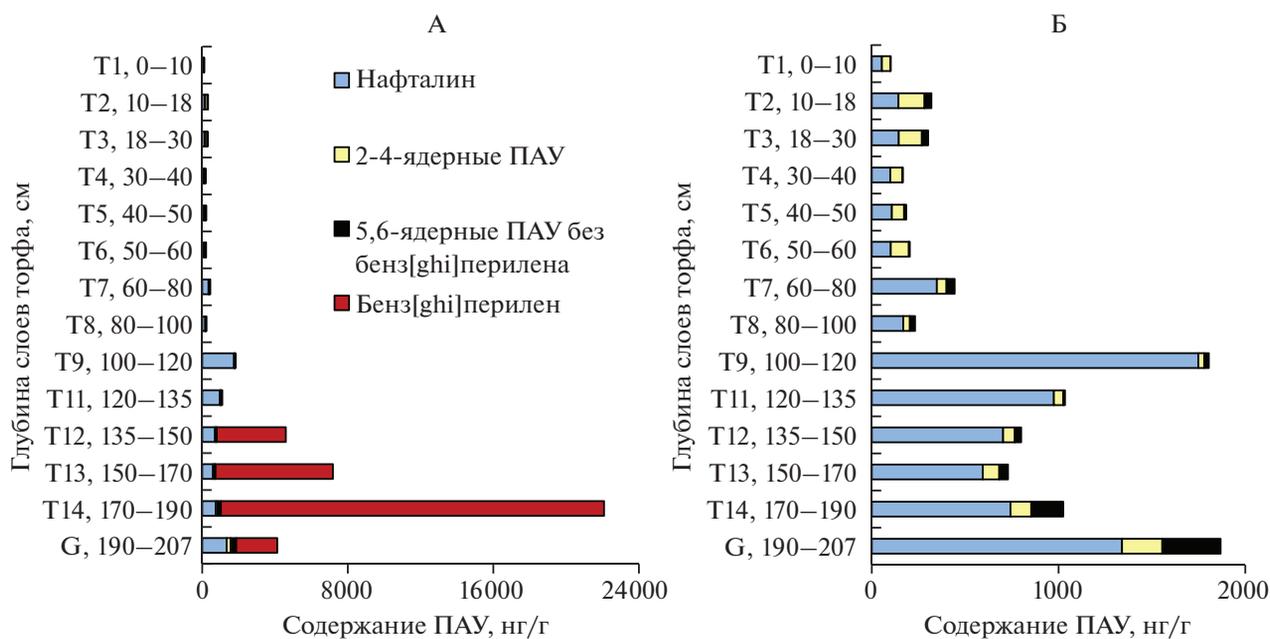


Рис. 3. Содержание ПАУ в разных слоях торфа болотной переходной остаточной низинной почвы мочажин: А – содержание всех ПАУ, В – содержание ПАУ без бенз[ghi]перилена.

новительных условиях в сильнообводненных горизонтах коллювиальных почв [19].

Суммарное содержание ПАУ в верхних слоях торфа мерзлотных бугров 0–30 см было примерно одинаковым. Затем следовало резкое повышение содержания полиаренов с пиком на границе СТС на глубине 40–60 см, в основном за счет бенз[ghi]перилена. В слое многолетней мерзлоты

также обнаружено значительное накопление данного полиарена, но общее содержание ПАУ снижается в глубинных слоях до 5–15 раз. При этом следует отметить обратную зависимость накопления нафталина и бенз[ghi]перилена в торфе. В слоях торфа, содержащих максимальное количество бенз[ghi]перилена, массовая доля нафталина минимальна. То же характерно для аценафтена, антраце-

на, флуорантена, бенз[а]антрацена и бензо[б]флуорантена, но в меньшей степени. Полиарены в слоях торфа 0–30 см, как и в растениях, были представлены преимущественно легкими структурами (89–94%). В СТС доля легких структур в общем содержании ПАУ снижалась до 6–19%, и вновь возрастала в слоях многолетней мерзлоты до 25–67%. Такие изменения в составе ПАУ были в основном связаны с избыточным содержанием бенз[ghi]перилена на границе мерзлоты. Так как бенз[ghi]перилен, как и дибенз[а, h]антрацен, в современных растениях отсутствовал, их образование могло быть связано с почвообразовательными процессами.

Для мочажинного торфа отмечены сходные тенденции. В верхнем слое торфяника 0–10 см содержание ПАУ не велико (100 нг/г), в последующих слоях 10–100 см оно незначительно варьирует и превышает содержание в верхнем слое в 2–4 раза. Затем происходит значительное повышение содержания полиаренов в слоях 100–130 см, главным образом, за счет увеличения количества нафталина. По мере приближения к границе СТС (130–170 см) резко возрастает массовая доля бенз[ghi]перилена, а, следовательно, и общей суммы ПАУ. Максимум накопления полиаренов отмечен, как и для сухоторфяной мерзлотной почвы бугров, на глубине границы СТС (170–190 см). Затем отмечено 5-кратное уменьшение содержания ПАУ в слое многолетней мерзлоты. Так же, как для почвы бугров, с глубиной доля низкомолекулярных структур ПАУ увеличивалась до 78–99% от общего содержания. Как и на буграх, выявлена обратная тенденция в накоплении нафталина и бенз[ghi]перилена в торфе. В меньшей степени при возрастании массовой доли бенз[ghi]перилена уменьшалось содержание аценафтена, флуорена, антрацена, флуорантена, бенз[а]антрацена и бензо[к]флуорантена в торфянике. Сходные закономерности распределения ПАУ по профилю торфяника были обнаружены при изучении омбротрофного болота в Швейцарии. Содержание нафталина было близким к полученным нами данными, массовая доля бенз[ghi]перилена варьировала в широком диапазоне, при его максимальном содержании был выявлен минимум массовой доли нафталина. Максимальное общее содержание полиаренов в торфянике было выявлено на глубине 20–25 см [20]. Авторы связывают повышение концентраций ПАУ в данном горизонте с активным применением в Швейцарии каменного угля в качестве топлива в период формирования данного слоя торфа.

Следует отметить, что содержание полиаренов в почвах значительно превышало их массовую долю в растениях, кратности достигали 200 раз. Исключением было содержание ПАУ в горизонте 0–10 см почв мочажин, которое было в 2–4 раза ниже, чем в *Polytrichum strictum*, *Carex limosa*, *Betula nana* побегах *Picea abies*, ветвях *Betula pubescens*,

Salix lapponum и близко к массовой доле ПАУ в остальных исследованных видах.

Более высокое содержание полиаренов в торфяных горизонтах почв по сравнению с растениями во многом объяснялось эффектом спрессовывания растений в процессе формирования почвенного профиля. Из растений минерализовались и улетучивались простые вещества в виде газов, легко разлагаемая часть перерабатывалась микроорганизмами, и в итоге ПАУ и другие органические вещества, трудно поддающиеся разложению, оставались в почве в спрессованном состоянии, возрастал их вклад на 1 г почвенно-растительного материала. Так, эксперимент по разложению, травянистых растений *Ceratophyllum demersum* L., *Menyanthes trifoliata* L. и листьев *Nuphar lutea* L. в озерах, показал, что эти виды в кислых условиях среды (рН 4.4–5.2) теряют в течение 100 дней до половины сухого веса [23].

Было проведено сравнение качественного состава ПАУ почв и исследованных растений. Для корреляционного анализа использовали данные по тем видам растений, которые входили в ботанический состав того или иного торфяного разреза. В ботаническом составе торфа мерзлотных бугров слоев 0–10 см доминировал *Polytrichum* sp. Сравнение качественного состава торфа этих слоев показало значимую степень корреляции состава ПАУ с современным составом ПАУ *Polytrichum strictum*, коэффициент корреляции составил 0.67 (при $n = 28$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.36$). Торф в данных слоях был разложен на 20–25%, что могло сказаться на качественном составе ПАУ.

Торф более глубоких слоев разложен до 40%, на глубинах 10–15 см выявлено присутствие *Betula nana* и *Salix* sp. Данные корреляционного анализа позволили выявить достоверную статистическую взаимосвязь состава ПАУ данных видов растений и торфа, коэффициент корреляции составил 0.80 для *Betula nana*, ветвей *Salix lapponum* и *Polytrichum strictum* и 0.54 – для листьев *Salix lapponum*. Более слабую корреляционную взаимосвязь состава ПАУ торфа и листьев *Salix lapponum* можно объяснить большей скоростью разложения листьев по сравнению с древесными остатками. Известно, что корневой опад гораздо медленнее подвергается разложению по сравнению с зелеными частями сосудистых растений. Считается, что в корнях содержатся органические соединения, препятствующие их разложению, также кора корней, содержащая дубильные вещества и смолы, может способствовать замедлению процессов деструкции [7]. Листья ивы, по-видимому, уже разложились в торфе, что привело и к деструкции находящихся в их составе ПАУ. Вероятно, полиарены подвергались дальнейшему разложению до более легких структур и простых веществ. Как известно, деструкция ПАУ микроорганизмами осу-

ществляется последовательно и начинается с гидроксирования только одного ароматического кольца [8].

На глубине 25–35 см обнаружен большой вклад пушиц и осок в формировании ботанического состава торфа. Показаны значимые коэффициенты корреляции с составом ПАУ торфа для *Eriophorum russeolum* и *Eriophorum vaginatum* $r = 0.41–0.44$ (при $n = 28$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.36$). Более высокие степени корреляции выявлены для *Betula nana* и ветвей *Salix lapponum* $r = 0.52$ в слое (при $n = 28$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.36$), остатки которых также были обнаружены в данном слое торфа. Для листьев *Salix lapponum* и *Carex limosa* коэффициенты корреляции были не значимы. Возможно, ПАУ в торфяной залежи формировались в процессе почвообразования, так как степень разложения торфа достигала 40%.

В более глубинных слоях торфа не обнаружено значимых корреляций между составом ПАУ торфа и современной растительности. Согласно данным ботанического состава, на формирование торфа данных слоев могли оказывать влияние часто встречающиеся в них растения: *Betula pubescens*, *Eriophorum* sp., *Carex* sp., *Equisetum fluviatile*, на начальной стадии формирования *Picea* sp. и *Comarum* sp. 5000 лет назад и более. По-видимому, в растениях накапливались тяжелые полиарены под действием различных природных процессов (в том числе пожаров). Отсутствие корреляционных взаимосвязей могло быть связано с образованием больших количеств тяжелых ПАУ, главным образом, бенз[ghi]перилена на границе СТС. В современных растениях данный полиарен обнаружен не был. Его формирование связано с особыми условиями почвообразования, создавшимися на границе многолетней мерзлоты, т.е. с динамическими процессами оттаивания и промерзания, которые приводят к дальнейшей трансформации законсервированной в суббореальный период травянистой и древесной растительности и высокомолекулярных гумусовых веществ.

Корреляционный анализ состава ПАУ растений и торфа мочажин позволил получить сходные данные. В слоях торфа 0–60 см доминирующим видом был *Sphagnum riparium*, его доля достигала 90%, при степени разложения торфа 5–15%. Остальные растительные остатки в этих слоях были представлены пушицами. Для *Sphagnum riparium*, *Eriophorum russeolum* и *Eriophorum vaginatum* получены высокие значения коэффициентов корреляции, они составили $r = 0.83–0.88$ (при $n = 84$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.30$). Более высокие значения коэффициентов корреляции по сравнению с данными, полученными для торфа бугров, могут быть связаны с низкой степенью разложенности торфа мочажин.

В слоях торфа 60–135 см степень разложения торфа резко увеличивается до 30–40%. В ботаническом составе торфа начинают преобладать *Carex* sp. и *Betula pubescens*, также остается значимым вклад *Sphagnum riparium* и пушиц. Для всех этих видов были обнаружены значимые корреляции с составом ПАУ торфа исследованных слоев. Максимальные корреляции были выявлены для ветвей *Betula pubescens* $r = 0.78$, *Carex limosa* и *Eriophorum vaginatum* $r = 0.61$ (при $n = 56$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.30$), видов доминирующих в ботаническом составе. Для других исследованных видов они варьировали в диапазоне $r = 0.48–0.58$. Высокая степень разложения ведет к снижению коэффициентов корреляции между составом ПАУ торфа и растений по сравнению с верхними слоями. Следовательно, состав ПАУ торфа определяется не исходным составом ПАУ в торфообразователях, а связан с синтезом “тяжелых” ПАУ как из низкомолекулярных структур, так и, вероятно, из более высокомолекулярных органических соединений. Этому способствуют восстановительный режим глубинных слоев торфа.

Корреляционных связей между составом растений всех исследованных видов и составом ПАУ глубинного торфа (135–200 см) выявлено не было. Что также согласуется с данными, полученными нами для торфа бугров. Видимо, в данном случае в образовании ПАУ задействованы те же механизмы, спровоцированные процессами периодического замерзания и оттаивания на границе СТС.

Ранее на основании корреляционного и дисперсионного анализов была показана достоверная взаимосвязь между степенью ароматичности [5] фульво- и гуминовых кислот и содержанием тяжелых полиаренов в разных слоях торфа. Полученные результаты не свидетельствовали об образовании ПАУ из структур гумусовых веществ, но позволяли показать, что образование ПАУ происходит в единой системе почвенных процессов, приводящих к накоплению в торфяных слоях на границе СТС и слоях многолетней мерзлоты “тяжелых” полиаренов и трансформации гумусовых веществ.

Степень разложения торфа может влиять на вклад состава ПАУ растений в накопление полиаренов в торфяниках. Как для торфа бугров, так и для мочажинного торфа были установлены высокие обратные корреляционные зависимости между степенью корреляции состава ПАУ почв и растений и степенью разложенности торфа. Они составили $r = -0.81$ (при $n = 8$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.63$) для торфа бугров и $r = -0.84$ (при $n = 10$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.58$) для торфа мочажин. Следовательно, чем больше был разложен торф, тем в меньшей степени состав ПАУ растений влиял на состав ПАУ почв. Для слоев, расположенных на границе мерзлоты и непосредственно мерзлотных слоев,

значимых корреляций со степенью разложения выявлено не было.

В верхних слоях почв мочажин до глубины 60 см ботанический состав торфа представлен в основном (до 90%) *Sphagnum riparium*, что позволяет проследить изменение в составе ПАУ торфа, образованного одним видом, в течение длительного времени. В данном случае мы имеем дело с природной моделью естественного разложения растений, в которой возможно проследить закономерности деструкции органического вещества в естественных условиях (рис. 4).

На рис. 4 представлены ряды содержания индивидуальных ПАУ в растениях торфообразователях (*Sphagnum riparium* и *Eriophorum russeolum*) и торфе на разных глубинах залегания. Подобная визуализация позволяет наглядно оценить изменения в составе ПАУ торфа от изначального состава растений торфообразователей, происходящие в процессе почвообразования. В составе мха и почвы значительную долю составляли такие ПАУ, как нафталин и фенантрен: 75% для мха и 61–77% в зависимости от слоя торфа соответственно (рис. 4). В меньшей степени были представлены флуорен, флуорантен и пирен. Массовая доля этих структур варьировала в зависимости от слоя торфа. В слое 0–10 см содержание нафталина и флуорантена соответствовало его содержанию в *Sphagnum riparium*, для фенантрена и флуорена снижалось (в 3 и 2 раза соответственно), для пирена увеличивалась в 5 раз (данный эффект может быть связан с высоким содержанием пирена в *Eriophorum*, составлявшей 15% ботанического состава данного горизонта). Распределение в слоях торфа в 10–18 и 18–30 см было идентично в качественном и количественном отношении. На данной глубине отмечено резкое возрастание количества нафталина в 3 раза, флуорантена, антрацена, пирена, бенз[а]антрацена в 4–5 раз, хризена в 7 раз, бенз[а]пирена и дибенз[а, h]антрацена до 40 раз по сравнению с исходным составом мха. В почве появлялись бенз[б]флуорантен и дибенз[а, h]антрацен. Содержание фенантрена и флуорена в данных слоях торфа было таким же, как и во мху.

На глубинах 30–60 см содержание нафталина, флуорантена и бенз[к]флуорантена в торфе было в 2 раза выше, содержание фенантрена, флуорена, хризена в почвах и *Sphagnum riparium* было близким. Для других ПАУ следует представить градицию по глубинам, содержание антрацена было больше, чем в растениях в 2–6 раз и возрастало с глубиной залегания торфа. Та же тенденция выявлена для пирена с кратностями превышения 2–3 раза. Массовая доля бенз[а]пирена возрастала во всех слоях 30–60 см с минимумом в 40–50 см, рост содержания был менее выражен чем в слоях 10–30 см. В почвах присутствовал ди-

бенз[а, h]антрацен не обнаруженный во мху, для него выявлена обратная тенденция по сравнению бенз[а]пиреном с максимумом содержания в слое 40–50 см. Также максимальная массовая доля в этом слое выявлена для бенз[ghi]перилена, присутствие которого обнаружено на глубинах 30–60 см и бенз[б]флуорантена. Особенности слоя 40–50 см могли быть обусловлены повышением доли *Eriophorum* в ботаническом составе торфа данного слоя до 10% по сравнению с другими слоями на глубине 30–60 см.

В слоях 10–30 см вклад *Eriophorum* в ботанический состав торфа также составлял 10%, и это приводило к росту содержания тяжелых полиаренов в торфе. В составе верхнего слоя торфа было выявлено 15% *Eriophorum*, но повышение содержание тяжелых ПАУ в данном горизонте торфа было менее 1%, что было характерно и для состава растений *Eriophorum russeolum* и *Eriophorum vaginatum*. Это объясняется тем, что растения в верхнем горизонте находились в практически неразложившемся состоянии. Полученные данные позволяют утверждать, что образование тяжелых ПАУ в исследуемом торфе во многом связано с разложением растений *Eriophorum* sp., именно из органических соединений входящих в их состав в процессе разложения могли формироваться высокомолекулярные ПАУ в слоях торфа 0–60 см. Коэффициент корреляции между долей *Eriophorum* sp. в ботаническом составе торфа и массовой долей тяжелых ПАУ в слоях 10–60 см составил $r = 0.78$ (при $n = 5$, $p < 0.05$, $r_{cr} = 0.75$). В более глубоких слоях значимых корреляций не выявлено, что может быть связано с появлением в составе торфа *Betula* sp., разложение которой также могло влиять на качественный состав ПАУ.

По литературным данным травянистые растения обогащены лигнином в большей степени, чем мхи [1, 4, 10]. Содержание лигнина в сухом беззольном веществе лишайников и мхов (8–10%) меньше, чем в травянистой (15–20%), кустарниковой и древесной (20–30%) растительности. При этом травянистые растения разлагаются намного быстрее, чем мхи. Показано, что вынос углерода при разложении растений-торфообразователей в течение года составляет от 3% для сфагнового мха (*S. fuscum*) до 72% для травянистого растения (*M. trifoliata*) [7]. В нашем случае при интенсивном разложении *Eriophorum* sp. могло происходить разрушение лигнина, сопровождающееся формированием тяжелых структур ПАУ.

Таким образом, можно констатировать, что формирование торфа мочажинных почв начинается с перекombинации легких структур ПАУ, входящих в состав *Sphagnum riparium* и *Eriophorum* sp. В процессе длительного формирования почв, разложения сложных органических веществ растений (лигнина, стеринов, гормонов), в первую очередь

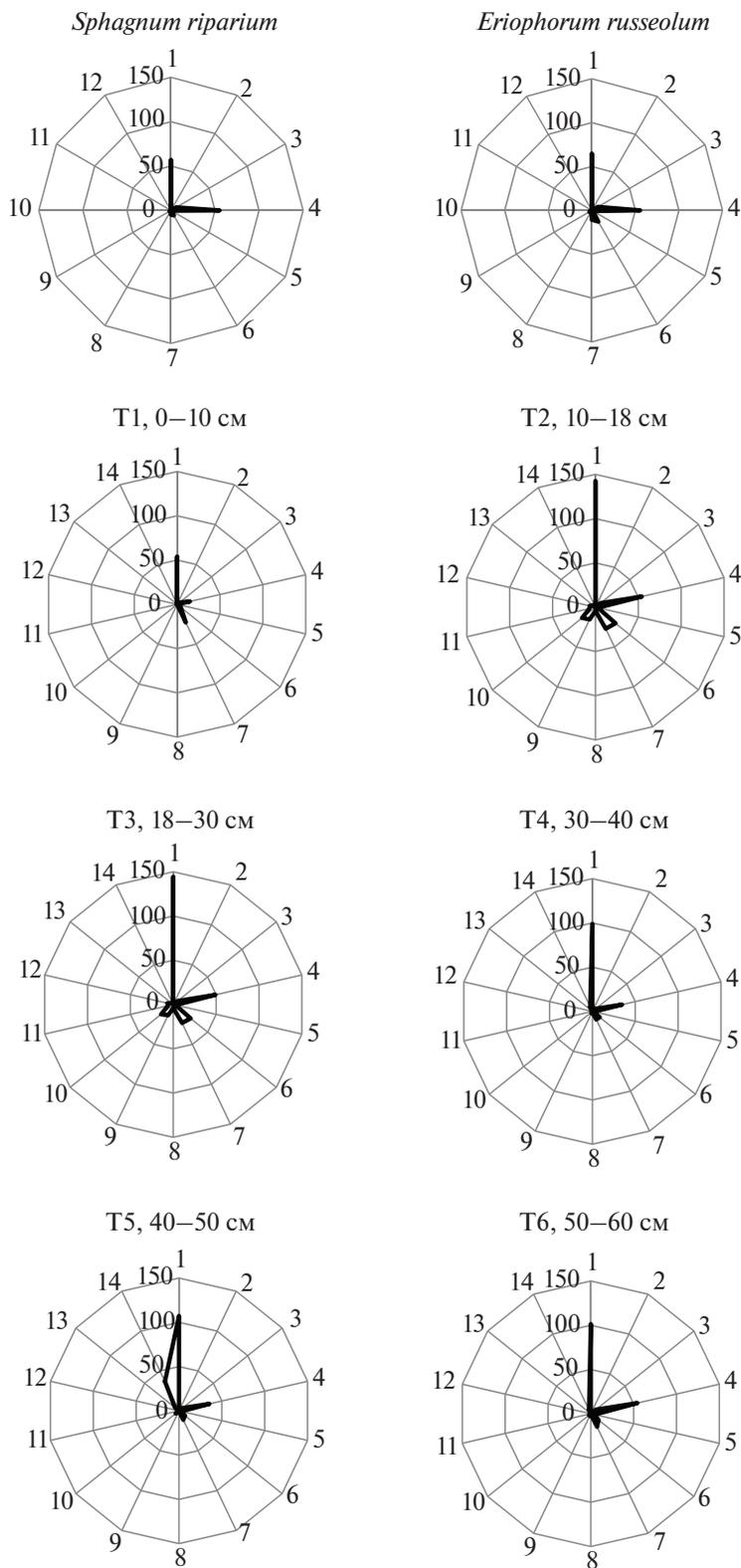


Рис. 4. Массовая доля индивидуальных ПАУ (нг/г) в растениях и почвах: 1 – нафталин, 2 – аценафтен, 3 – флуорен, 4 – фенантрен, 5 – антрацен, 6 – флуорантен, 7 – пирен, 8 – хризен, 9 – бенз[а]антрацен, 10 – бензо[б]флуорантен, 11 – бензо[к]флуорантен, 12 – бенз[а]пирен, 13 – дибенз[а, h]антрацен и 14 – бенз[ghi]перилен.

быстро разлагающихся видов (*Eriophorum* sp.), начинают формироваться тяжелые структуры ПАУ, и возрастает содержание легких структур. Дальнейшее разложение в слоях 30–60 см могло привести к образованию более конденсированных ПАУ, таких как бенз[ghi]перилен, и к разрушению большинства полиаренов до простых соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценен современный состав ПАУ растительности естественных бугристых болот лесотундровой подзоны Республики Коми. Установлено, что максимальным накоплением полиаренов отличались *Polytrichum strictum*, *Betula pubescens* и побеги *Picea abies*, в меньшей степени ПАУ содержались в *Betula nana* L., *Salix lapponum* L. и *Carex limosa* L. В составе растений преобладали легкие полиарены, дибенз[a,h]антрацен и бенз[ghi]перилен в растениях отсутствовали.

Показаны сходные закономерности в профиле распределения ПАУ в почвах мерзлотных бугров и мочажин, которые выражались в незначительном накоплении в основном низкомолекулярных ПАУ в СТС, резком возрастании содержания тяжелых структур ПАУ (главным образом бенз[ghi]перилена) на границе многолетней мерзлоты и некотором уменьшении их массовой доли непосредственно в мерзлотных горизонтах.

На основании полученных данных можно констатировать, что состав ПАУ торфяников в основном определяется составом ПАУ растительности до глубины прохождения границы СТС, где происходит активный синтез или высвобождение тяжелых полиаренов в структуре единой системы почвенных процессов. На связь состава ПАУ растений с содержанием ПАУ в торфе значительное влияние оказывала степень разложения растительных остатков.

Показано, что состав ПАУ торфа мочажинных почв верхних горизонтов обусловлен перекомбинацией легких структур ПАУ, входящих в состав *Sphagnum riparium* и *Eriophorum* sp. В процессе длительного формирования почв, разложения сложных органических веществ растений, главным образом, *Eriophorum* sp., начинают формироваться тяжелые структуры ПАУ, и возрастает содержание легких структур.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60195 (№ ЦИТиС АААА-А18-118062090029-0) и государственной темы № АААА-А17-117122290011-5.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.
2. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Таскаева А.И. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2010. 356 с.
3. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / Под ред. Таскаева А.И. М.: ДиК, Дрофа, 1997. 116 с.
4. Василевич Р.С., Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Молекулярная структура гумусовых веществ мерзлотных бугристых торфяников лесотундры // Почвоведение. 2019. № 3. С. 317–329.
5. Габов Д.Н., Василевич Р.С., Яковлева Е.В., Зуева О.М. Ароматические соединения в бугристых торфяниках криолитозоны // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017. № 6. С. 15–29.
6. Габов Д.Н., Безносиков В.А., Груздев И.В., Яковлева Е.В. Накопление *n*-алканов и карбоновых кислот в бугристых торфяниках // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1179–1195.
7. Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот // Вестник Томск. гос. ун-та. Биология. 2013. № 3(23). С. 137–151. <https://doi.org/10.17223/19988591/23/13>
8. Елин Е.С. Фенольные соединения в биосфере. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 392 с.
9. Карта четвертичных отложений. Сер. Северо-Уральская. Q-41-V. М-б 1 : 200000. М.: Министерство геологии и охраны недр СССР, 1959.
10. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
11. Пастухов А.В., Каверин Д.А., Габов Д.Н. Полициклические ароматические углеводороды в мерзлотных бугристых торфяниках на европейском северо-востоке // Почвоведение. 2017. № 7. С. 814–823.
12. Пьявченко Н.И. Бугристые торфяники. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 278 с.
13. Шурубор Е.И. Полициклические ароматические углеводороды в системе почва–растение района нефтепереработки (Пермское Прикамье) // Почвоведение. 2000. № 12. С. 1509–1514.
14. Юрковская Т.К. География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий. СПб.: БИН, 1992. 254 с.
15. Яковлева Е.В., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Габов Д.Н. Биоаккумуляция полициклических ароматических углеводородов в системе почва–растение // Агрохимия. 2008. № 9. С. 66–74.
16. Яковлева Е.В., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Хомиченко А.А. Генотоксические эффекты в растениях *Tradescantia (clon 02)* индуцированные бенз[а]пиреном // Сибирский экологический журнал. 2011. № 6. С. 805–812.
17. Яковлева Е.В., Габов Д.Н., Безносиков В.А. Влияние различных доз бенз[а]пирена на состав полициклических ароматических углеводородов в песчаной культуре // Агрохимия. 2015. № 6. С. 90–96.

18. Яковлева Е.В., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Накопление полициклических ароматических углеводородов в почвах и мхах южной тундры на разных расстояниях от теплоэлектростанции // Почвоведение. 2018. № 5. С. 563–572.
19. Atanassova I., Brummer G.W. Polycyclic aromatic hydrocarbons of anthropogenic and biopedogenic origin in a colluviated hydromorphic soil of Western Europe // Geoderma. 2004. V. 120. P. 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.08.007>
20. Berset J.D., Kuehne P., Shotyk W. Concentrations and distribution of some polychlorinated biphenyls PCBs and polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs in an ombrotrophic peat bog profile of Switzerland // Sci. Total Environ. 2001. V. 267. P. 67–85. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00763-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00763-4)
21. Bozkurt S., Lucisano M., Moreno L., Neretnieks I. Peat as a potential analogue for the long-term evolution in landfills // Earth-Sci. Rev. 2001. T. 53. V. 1–2. P. 95–147. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00036-2](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00036-2)
22. Chen W., Wang H., Gao Q., Chen Y., Li S., Yang Y., Werner D., Tao S., Wang X. Association of 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons with humic acid and humin fractions in a peat soil and implications for their long-term retention // Environ. Poll. 2017. V. 230. P. 882–890. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.038>
23. Kufel L., Kufel I., Krolukowska J. The effect of lake water characteristics on decomposition of aquatic macrophytes // Polish J. Ecology. 2004. V. 52. № 3. P. 261–273.
24. Tanneberger F., Tegetmeyer C., Busse S., Barthelmes A. et al. The peatland map of Europe // Mires and Peat. 2017. V. 19. P. 1–17. <https://doi.org/10.19189/MaP.2016.OMB.2641>
25. Thormann M.N., Szumigalski A.R., Bayley S.E. Aboveground peat and carbon accumulation potentials along a bog-fen-marsh wetland gradient in southern boreal Alberta, Canada // Wetlands. 1999. V. 19. P. 305–317.
26. Thuens S., Blodau C., Radke M. How suitable are peat cores to study historical deposition of PAHs // Sci. Total Environ. 2013. V. 450–451. P. 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.091>
27. Wang Z., Liu S., Bu Z.-J., Wang S. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during Sphagnum litters decay // Environ. Sci. Poll. Res. 2018. V. 25. P. 18642–18650. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-018-2019-x>
28. Wilcke W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil – a review // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2000. V. 163. P. 229–248. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200006\)163:3<229::AID-JPLN229>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200006)163:3<229::AID-JPLN229>3.0.CO;2-6)
29. Zhou Y.B., Chen L., Wang X.Q., Xu Y.X., Lu J. Adsorption of phenanthrene by quaternary ammonium surfactant modified peat and the mechanism involve. Water Sci. Technol. 2012. V. 66. P. 810–815. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.253>

Participation of Plants in the Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Peatlands

E. V. Yakovleva^{1,*}, D. N. Gabov¹, R. S. Vasilevich¹, and N. N. Goncharova¹

¹*Institute of Biology, Federal Research Center Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, 167982 Russia*

**e-mail: kaleeva@ib.komisc.ru*

The polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in vegetation from natural hummocky peatlands in the forest-tundra subzone of the Komi Republic were accessed for their current composition and its possible impact on the composition of polyarenes in the peat. The content of polyarenes was estimated by the method of highly efficient liquid chromatography. *Polytrichum strictum*, *Betula pubescens*, and shoots of *Picea abies* best accumulated polycyclic aromatic hydrocarbons. *Betula nana* L., *Salix lapponum* L., and *Carex limosa* L. contained few amounts of polyarenes with a predominance of low-molecular weight substances. We did not find dibenz[a,h]anthracene and benzo[ghi]perylene which are common in peat as products of soil-forming processes. Distribution patterns of PAHs in the soils of peat mounds with permafrost (Hemic Folic Cryic Histosols) and the soils of open-water mire pools (Fibric Floatic Histosols). The seasonally thawed layer normally accumulated low-molecular weight polyarenes in small quantities. The content of heavy structures (mainly, benzo[ghi]perylene) strongly increased at the contact with the permafrost table and then slightly decreased in the underlying permafrost. The composition of PAHs in the active layer normally depended on the composition of polyarenes in plants; at the contact with permafrost, the active synthesis or release of heavy-molecular weight compounds took place. The influence of the composition of PAHs in plants on their composition in peat greatly depended on the degree of peat decomposition. Reasoning from the natural model of peat formation in open-water mire pools, the composition of polyarenes in the upper peat horizons of such sites was affected by recombination of low-molecular weight hydrocarbons in *Sphagnum riparium* and *Eriophorum* sp. In the course of long soil development, the decomposition of complex organic compounds in plant tissues (particularly, in *Eriophorum* sp.) leads to the formation of heavy PAHs with a simultaneous increase in the content of low-molecular weight polyarenes.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons, plants, peatlands, nature simulation model, Hemic Folic Cryic Histosols, Fibric Floatic Histosols