



УДК 504.73: 547.912

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В РАСТЕНИЯХ ЕСТЕ- СТВЕННЫХ БУГРИСТЫХ БОЛОТ

ЯКОВЛЕВА

Евгения Вячеславовна

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28, kaleeva@ib.komisc.ru

ГАБОВ

Дмитрий Николаевич

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28, gabov@ib.komisc.ru

Ключевые слова:

растения
бугристые болота
полициклические
ароматические
углеводороды
естественные фитоценозы
лесотундра

Аннотация: Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии определен качественный и количественный состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) доминантных растений бугристого болота. Установлено, что растения в естественных условиях могут содержать значительные количества полиаренов, которые в дальнейшем способны участвовать в формировании состава ПАУ тундровых торфяников. Выявлены значимые корреляционные зависимости между составом ПАУ сфагноума берегового, осок и пушиц, а также между древесными и кустарниковыми видами, что позволяет говорить о сходных закономерностях аккумуляции ПАУ внутри данных групп. Максимальным накоплением ПАУ среди болотных видов отличались мох *Polytrichum strictum* и ветви деревьев: *Picea abies*, *Betula pubescens* и кустарников: *Salix lapponum* и *Betula nana*. Выявлены особенности накопления ПАУ разными органами исследованных видов. В травянистых растениях полиарены преимущественно аккумулировались в подземной части. Показано снижение корневого накопления ПАУ травянистыми растениями в условиях сильного обводнения болот по сравнению с сухими участками. Во мхах ПАУ преобладали в отмершей части. В кустарниках и древесных видах полиарены концентрировались в ветвях и корнях. Исследование побегов *Picea abies* разных возрастов позволило установить, что побеги 1 года более обогащены полиаренами по сравнению с побегами 2-7-летнего возраста. Данный факт во многом связан с активными ростовыми процессами, способствовавшими образованию значительных количеств нафталина в хвое 1 года. Для 2-7-летних побегов характерны близкие массовые доли ПАУ. Полученные данные по фоновому содержанию ПАУ в растениях болот можно использовать при проведении мониторинговых

исследований полиаренового загрязнения. В будущем при проведении дополнительных исследований содержания ПАУ в торфяниках на основании полученных результатов можно оценить вклад болотных видов растений в формирование состава ПАУ торфа на разных этапах его образования.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 26 февраля 2019 года

Подписана к печати: 28 июня 2019

Введение

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это органические соединения бензольного ряда, которые, с одной стороны, являются канцерогенными и мутагенными соединениями (Hamid et al., 2017; Liu et al., 2017), с другой – могут синтезироваться растениями и использоваться как питательные вещества (Аниськина, Яковлева, 2016). Растения естественных мест обитания, по данным ряда авторов, содержат незначительные количества, главным образом легких, полиаренов (Migaszewski et al., 2009; Dijk et al., 2015; Яковлева и др., 2016).

В высоких широтах бугристые болота занимают значительную часть поверхности суши и являются основными резервуарами углерода (Пастухов и др., 2018). При этом исследованию химического состава растительности болот уделяется мало внимания. В основном работы посвящены элементному составу макрофитов (Kufel et al., 2004; Манасыпов и др., 2012). Существуют данные о составе ПАУ растений, произрастающих на болотах, но они посвящены изучению воздействия процессов выгорания на изменение состава ПАУ и не затрагивают естественные фитоценозы (Vane et al., 2013). Исследование массовой доли полиаренов в растениях бугристых болот фоновых территорий позволит оценить естественные уровни содержания данных органических поллютантов в лесотундровых экосистемах. Полученные данные могут быть в дальнейшем использованы при проведении экологического мониторинга воздействия промышленных объектов на фитоценозы бугристых болот. Результаты проведенных исследований дадут возможность проследить изменение состава ПАУ в разных органах растений в условиях техногенного воздействия и тем самым исследовать закономерности поглощения полиаренов разными видами.

В болотах растения долгое время находятся в неразложившемся состоянии, в большей степени разложению подвергаются травянистые растения и лиственный опад, в меньшей степени мхи (Головацкая, Никоно-

ва, 2013). Исследование состава полиаренов растений бугристых болот позволит оценить вклад растений разных видов в формирование состава ПАУ почв. Изучение механизмов формирования торфяных почв как депо органического углерода является важнейшей задачей современных научных исследований.

Цель данной работы – оценить фоновые содержания полиаренов в доминирующих видах растений бугристых болот.

Материалы

Исследования проведены в лесотундровой зоне Республики Коми в бассейне р. Сейда. Видовой состав исследованного болота крайне беден, по предварительным данным, он насчитывает около 60 видов, включая высшие сосудистые растения, мхи и лишайники. Согласно комплексному гидролого-морфологическому подходу, исследованное болото относится к типу плоскобугристых. В соответствии с ботанико-географическими принципами (Юрковская, 1992), болото принадлежит к типу травяно-лишайниковых северовосточноевропейских 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 занимают повышения, или бугры, остальное пространство – мочажины, топи, обводненные в ложбины стока и вторичные озера. Микрорельефом вызвана и комплексность растительного покрова. Преобладают плоские бугры высотой 0.8–1 м.

Вследствие мелкопочковатой поверхности горизонтальная структура сообществ носит мозаичный характер, куртины низких кустарничков на лишайниковых подушках чередуются с высокорослыми (до 0.5 м) особями *Betula nana* или моховыми группировками микроросли, в том числе и с участием пушицы (*Eriophorum vaginatum* и *Eriophorum russeolum*), осок (*Carex limosa*, *Carex rotundata*) и сфагновых мхов.

Понижения микрорельефа обводнены и образованы преимущественно пушицево-сфагновыми и осоково-сфагновыми фитоценозами. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует один из следующих видов: *Eriophorum russeolum*, *Carex limosa* или *C. rotundata*. Кроме перечисленных, в отдельных случаях, например, по краю водоема, обильны *Carex cinerea*, *C. rostrata* и *Comarum palustre*. Участие других видов незначительно. Напочвенный покров образован сфагновыми мхами (в основном *Sphagnum riparium*, *S. lindbergii*, *S. balticum*).

Методы

С поверхности болота отбирали доминантные виды растений в трехкратной повторности. Отбор проводился в начале августа 2018 г. 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. Выбор видов растений для исследования основывался на ботаническом составе торфа исследованных бугристых болот, основой которого были *Polytrichum strictum* на буграх и *Sphagnum* в мочажинах. Другие исследованные виды представлены в ботаническом составе торфа в меньшей степени. Координаты отбора проб – 67°03' с. ш., 62°56' в. д. Подстилающие почвы характеризовались кислой реакцией среды, значения pH варьировали в диапазоне от 3.4 для верхних слоев до 5.5 в нижних горизонтах торфа.

Химико-аналитические исследования растений выполняли в ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Методика анализа массовой доли ПАУ в растениях описана нами ранее (Яковлева и др., 2018). Для извлечения ПАУ из растений использовали систему ускоренной экстракции растворителями ASE-350 (Dionex Corporation, США). Пробу растения массой 1 г помещали в экстракционную ячейку и трижды экстрагировали смесью хлористый метилен : ацетон (1:1) при температуре 100 °С. Затем экстракты концентрировали с применением аппарата Кудерна – Даниша при температуре в термостате 70 °С 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 элюэнта использовали 50 см³ смеси гексан : хлористый метилен (4:1). Элюат концентрировали с применением аппарата Кудерна – Даниша при температуре в термостате 85 °С до объема 5 см³, затем добавляли 3 см³ ацетонитрила и упаривали при температуре 90 °С до полного удаления гексана. Концентрат пробы в ацетонитриле анализировали на содержание ПАУ методом ВЭЖХ. Контроль точности результатов измерений проводили с использованием стандартного образца Certified reference material BCR-683 (European commission community bureau of reference). Статистическую обработку для оценки достоверности расхождений средних данных проводили при помощи *t*-критерия Стьюдента, $P = 0.95$. Для проведения корреляционного анализа использовали программу Statistica-6.

Результаты

В растениях бугристых болот идентифицировано 11 индивидуальных ПАУ: нафталин, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бенз[а]антрацен, бензо[б]флуорантен, бензо[к]флуорантен, бенз[а]пирен. ПАУ в растениях были представлены главным образом низкомолекулярными 2-4-ядерными структурами, их доля от общей суммы ПАУ изменялась в пределах 96–100 % для разных видов растений. Мы предполагаем, что присутствие полиаренов в растениях могло быть обусловлено рядом факторов: внутриклеточным синтезом в растениях, поглощением ПАУ растениями из почвы и поступлением полиаренов из атмосферы в процессе дальнего переноса в условиях лесотундры. Обнаружена высокая степень корреляции между составом ПАУ растений разных видов, коэффициенты варьировали от $r = 0.63$ до 1.00 (при $n = 11$, $p < 0.05$). Максимальные коэффициенты корреляции $r = 0.99$ –1 (при $n = 11$, $p < 0.05$) были выявлены между *Sphagnum riparium*, осоками и пушицами, еще в одну группу выделяются древесные и кустарниковые виды: *Betula nana*, побеги *Picea abies*, *Salix lapponum* и *Betula pubescens*. Состав ПАУ листьев кустарников *Salix lapponum* и *Betula pubescens* коррелировал между собой. Тесно коррелировал состав ПАУ *Comarum palustre* и *Equisetum fluviatile*, $r = 0.99$ (при $n = 11$, $p < 0.05$).

Максимальное содержание ПАУ среди растений болот было выявлено в *Polytrichum strictum*, побегах *Picea abies*, ветвях *Betula*

pubescens, в меньшей степени в ветвях *Salix lapponum* и *Betula nana* (рис. 1).

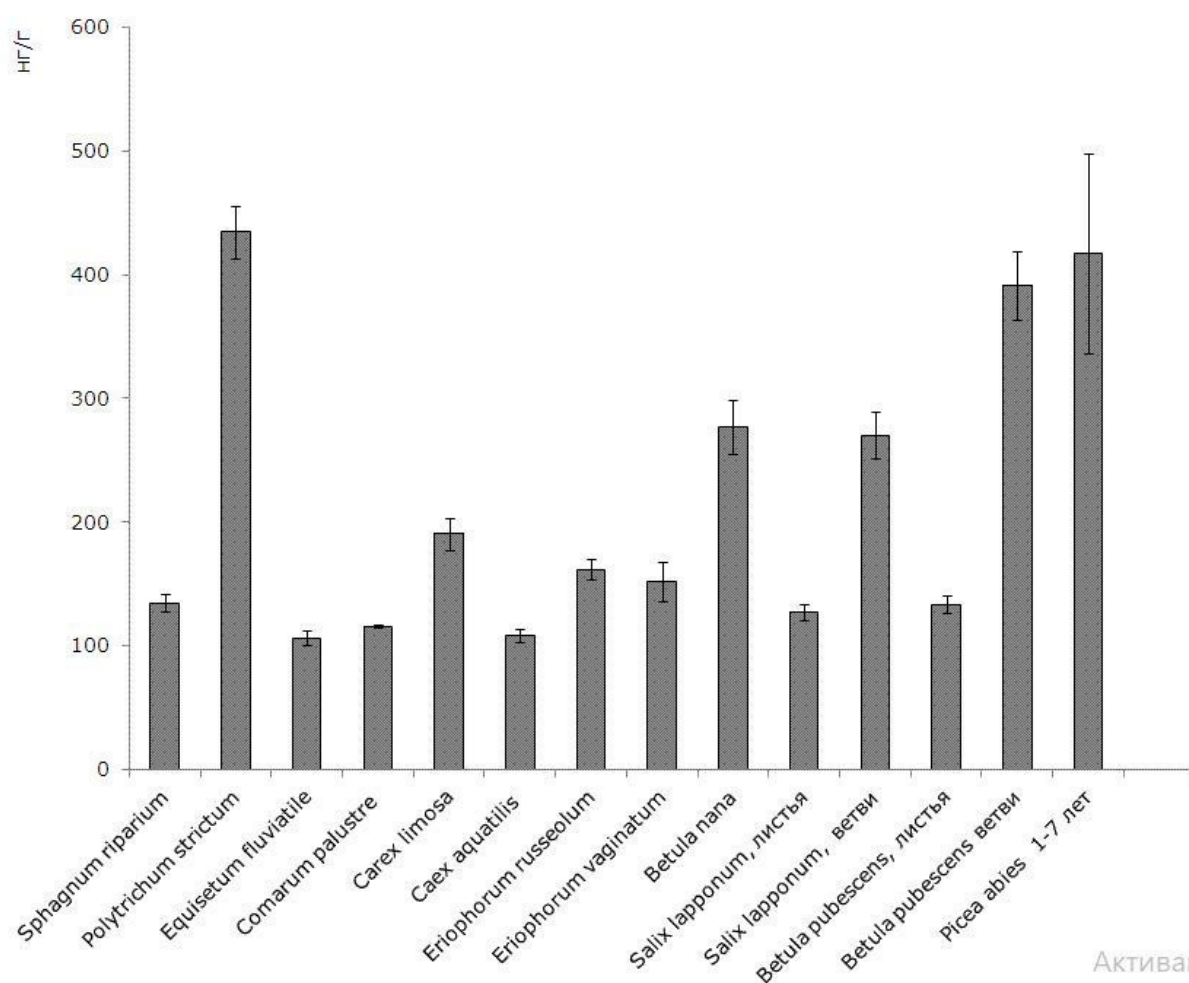


Рис. 1. Содержание ПАУ в растениях бугристых болот, нг/г

Fig. 1. PAH content in plants of frost mound bogs, ng/g

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, хвоща приречного (*Equisetum fluviatile*), сфагнума (*Sphagnum riparium*), листьев ивы лапландской (*Salix lapponum*) и березы пушистой (*Betula pubescens*) значения содержания ПАУ были близкими, в 2–4 раза ниже по сравнению с растениями-аккумуляторами, содержание нафталина в данных видах варьировало от 31 до 53 %.

Было проведено исследование накопления ПАУ разными органами растений (рис. 2). Исследование аккумуляции полиаренов в живой и отмершей частях мхов показали, что в отмершей части суммарная концентрация полиаренов была выше в 2 раза

в случае *Sphagnum riparium* и в 3 раза в случае *Polytrichum strictum*. Этот эффект можно объяснить долговременным накоплением углеводов в отмершей части мхов, составлявшей 70 % их общей биомассы. Следует отметить, что в предыдущих исследованиях нами были выявлены сходные тенденции в накоплении ПАУ *Pleurozium schreberi* на фоновых участках южной тундры (Яковлева и др., 2016).

Для осок и пушиц не установлено значительного превышения содержания ПАУ в подземной части над их массовой долей в надземной, кратности не превышали 1.3. Такие же превышения выявлены для содержания ПАУ в боковых ветвях *Equisetum fluviatile* над массовой долей в стебле. Для травянистых растений фоновых участков южной тундры нами были показаны иные

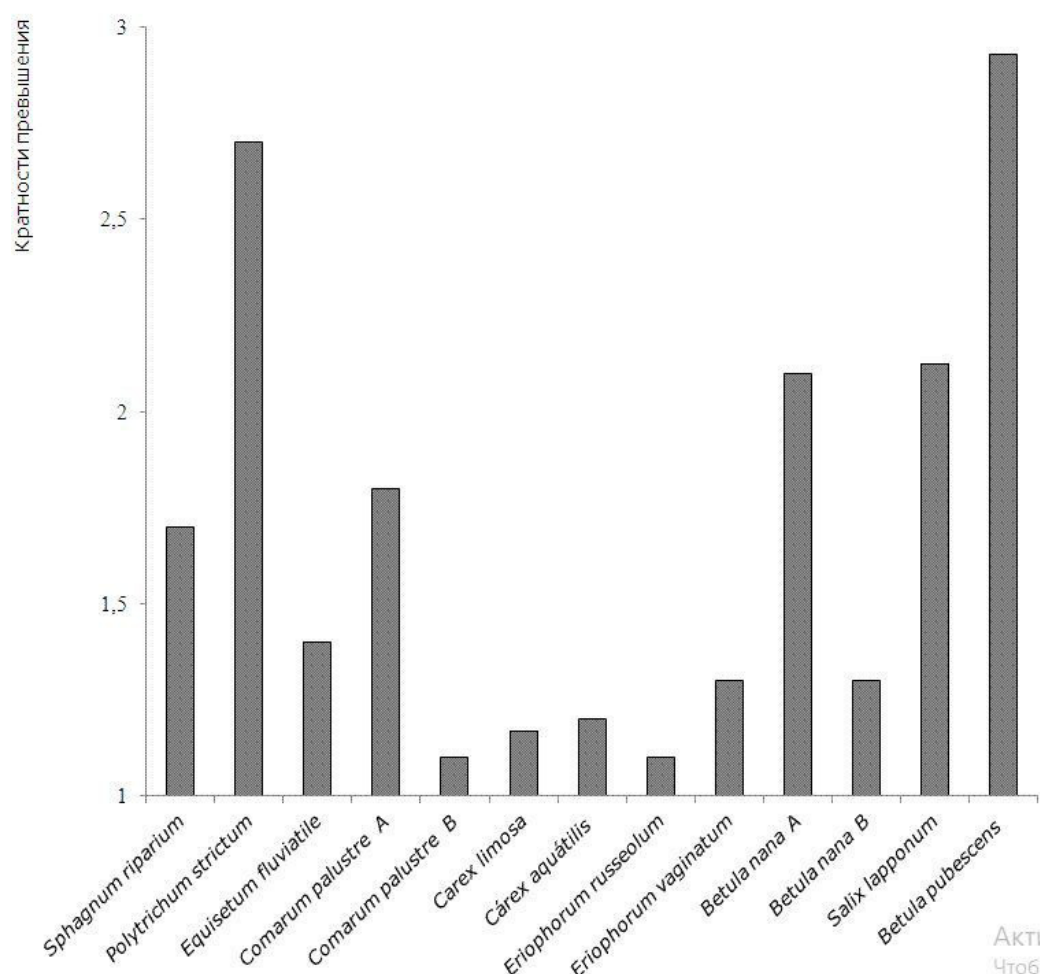


Рис. 2. Кратности превышения суммарного содержания ПАУ в разных органах растений. Для мхов – превышение содержания ПАУ в отмершей части над содержанием в живой. Для *Comarum palustre*: A – превышение содержания в листьях над стеблями, B – превышение содержания в листьях над корнями. Для *Equisetum fluviatile* – превышение содержания в боковых ветвях над стеблями. Для других травянистых растений – превышение содержания ПАУ в подземной части над надземной. Для *Betula nana*: A – в корнях над листьями, B – в корнях над ветвями. Для *Salix lapponum* и *Betula pubescens* – превышение в ветвях над листьями

Fig. 2. Multiplicity of excess of the total content of PAHs in different plant organs. For mosses – the excess content of PAHs in the dead part over the content in the living one. For *Comarum palustre*: A – excess content in the leaves over the stems, B – excess content in the leaves over the roots. For *Equisetum fluviatile* – the excess content in the side branches over the stems. For other herbaceous plants – the excess content of PAHs in the underground part over the aboveground. For *Betula nana*: A – in the roots over the leaves, B – in the roots over the branches. For *Salix lapponum* and *Betula pubescens* – excess in the branches over the leaves

закономерности накопления ПАУ. В *Festuca ovina* и *Deschampsia caespitosa* на фоновом и загрязненном участках выявлено преимущественное накопление всех ПАУ в подземной части растений (Яковлева и др., 2016). Кратности превышения суммарного содержания ПАУ для фоновых участков составляли 2–2.5 раза. Факт меньшего накопления ПАУ корнями травянистых растений болот может объясняться большой обводненностью их места произрастания, которая исключает оседание почвенных частиц на корнях.

Для *Comarum palustre* отдельно исследовались листья, стебли и подземная часть. Содержание ПАУ в листьях и корнях было близким и в 2 раза превышало массовую долю ПАУ в стеблях. Возможно, это связано с тем, что ПАУ, аккумулированные листьями из атмосферы и корнями из почвы, слабо проникали в стебли растения.

Для *Betula pubescens*, исследованными органами которой были ветви и листья, установлено трехкратное превышение содержания ПАУ в ветвях над листьями. В меньшей

степени такое превышение выявлено в ветвях *Salix lapponum*, оно составило 2 раза по сравнению с листьями. Для *Betula nana*, в случае которой исследовались и корни растения, также показано превышение массовой доли ПАУ в ветвях над листьями в 2 раза. Максимальным содержанием ПАУ отличались корни *Betula nana*, концентрации ПАУ в них были больше, чем в ветвях, в 1.3 раза. Наши предыдущие исследования также показали преимущественно корневое поступление ПАУ в *Betula nana* на фоновых участках южной тундры (Яковлева, Габов, 2018). Было выявлено, что полиарены могут поступать в кустарники через корневую систему и концентрироваться на поверхности коры, при этом поступление ПАУ внутрь стеблей минимально. Незначительное содержание ПАУ в листьях обусловлено как листопадностью кустарников, так и низким уровнем атмосферного поступления полиаренов на фоновых территориях.

Для побегов *Picea abies* 1-го года установлено превышение содержания ПАУ в хвое над ветвями в 1.6 раза. Для побегов 2–7-го

года выявлена обратная тенденция: содержание ПАУ в ветвях было выше, чем в хвое. Кратности превышения достигали 5 и закономерно возрастали с увеличением возраста побегов. Преобладание ПАУ в ветвях во многом объясняется наличием на ветвях хвойных мощного липидного слоя, который способен регулировать поступление ПАУ за счет их адсорбции на поверхности. На хвое формируется восковой налет, препятствующий проникновению ПАУ внутрь. Вероятно, на ветвях первого года липидный слой, как и восковой налет, находится на стадии формирования, что приводит к большему накоплению ПАУ в хвое. С возрастом также выявлено увеличение массовой доли хвои в общей биомассе побегов от 63 % для побегов 1-го года до 77 % в побегах 7-го года. В побегах *Picea abies* выявлено присутствие только легких полиаренов.

Следует отметить, что общее содержание полиаренов для побегов 2–7-го года почти не изменялось в зависимости от возраста (рис. 3).

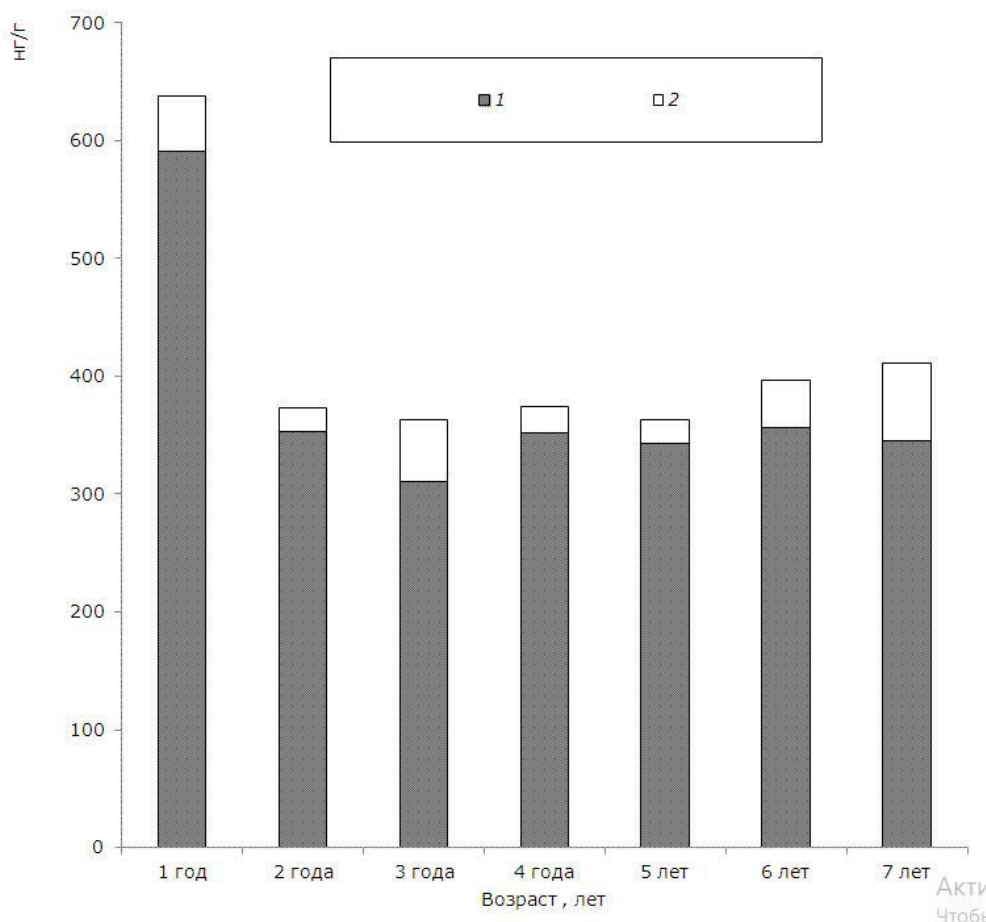


Рис. 3. Содержание ПАУ в побегах *Picea abies* в зависимости от возраста, нг/г. 1 – массовая доля нафталина, 2 – суммарная массовая доля остальных ПАУ

Fig. 3. PAH content in the shoots of *Picea abies*, depending on age, ng/g. 1 – naphthalene mass fraction, 2 – total mass fraction of the rest PAHs

При этом в побегах первого года массовая доля полиаренов была в 2 раза выше. ПАУ в побегах *Picea abies* на 92 % были представлены нафталином, характеризующимся сродством с витаминами и гормонами растений, по-видимому, его большое количество в побегах 1-го года связано с активными процессами роста.

Заключение

1. В растениях фоновых тундровых болот обнаружено присутствие 11 структур ПАУ. Полиарены в растениях были представлены в основном легкими структурами.

2. Выявлены высокие степени корреляции, определяющие сходные закономерности накопления ПАУ, между составом сфагновых мхов, пушиц и осок, а также между древесными и кустарниковыми видами.

3. Максимальное содержание ПАУ среди растений болот было выявлено для *Polytrichum strictum*, побегов *Picea abies*, ветвей *Betula pubescens*, *Salix lapponum* и *Betula nana*.

4. Обнаружены различия в накоплении ПАУ разными органами растений. Выявлено близкое содержание ПАУ в подзем-

ной и надземной частях осок и пушиц. Для мхов показано повышенное содержание ПАУ в отмершей части, для кустарников и кустарничков – в ветвях и корнях. Для побегов *Picea abies* 1-го года установлено превышение содержания ПАУ в хвое над ветвями, для побегов 2–7-го года выявлена обратная тенденция.

5. Среди побегов *Picea abies* максимальным содержанием ПАУ отличались побеги 1-го года, в побегах 2–7-летнего возраста массовая доля полиаренов была примерно одинакова.

6. Данные по содержанию полиаренов в растениях естественных тундровых болот могут быть использованы в целях мониторинга загрязнения болотных угодий полиаренами. В частности, для оценки уровня загрязнения ПАУ могут быть использованы мхи *Polytrichum strictum* и *Sphagnum riparium* как представители растительности бугров и мочажин.

7. На основании полученных результатов можно оценить вклад растений в формирование состава ПАУ торфа на разных этапах формирования торфяной залежи.

Библиография

- Аниськина М. В., Яковлева Е. В. Особенности деструкции бензпирена элодеей канадской в водной среде pyrene destruction by *Elodea canadensis* L. in water] // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 82–88.
- Головацкая Е. А., Никонова Л. Г. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 3 (23). С. 137–151.
- Манасыпов Р. М., Кирпотин С. Н., Покровский О. С., Широкова Л. С. Особенности элементного состава озерных вод и макрофитов термокарстовых экосистем субарктики Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 3 (19). С. 186–198. DOI: 10.17223/19988591/19/15.
- Пастухов А. В., Кноблаух К., Яковлева Е. В., Каверин Д. А. Маркеры трансформации органического вещества в мерзлотных бугристых болотах на европейском северо-востоке // Почвоведение. 2018. № 1. С. 48–61 DOI: 10.7868/S0032180X18010057.
- Юрковская Т. К. География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий. СПб.: БИН, 1992. 254 с.
- Яковлева Е. В., Габов Д. Н., Безносовых В. А. Накопление полициклических ароматических углеводородов растениями южной тундры при добыче угля открытым способом // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2016. № 4 (198). С. 24–33.
- Яковлева Е. В., Габов Д. Н., Безносовых 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. DOI: 10.7868/S0032180X18050052.
- Яковлева Е. В., Габов Д. Н. Полициклические ароматические углеводороды в кустарниках *Betula nana* (Betulaceae, Magnoliopsida) под воздействием теплоэлектростанции // Поволжский экологический журнал. 2018. № 4. С. 495–512.
- Dijk C., Doorn W., Alfen B. Long term plant biomonitoring in the vicinity of waste incinerators in the Netherlands // Chemosphere. 2015. Vol. 122. P. 45–51. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.11.002.
- Hamid N., Syed J. H., Junaid M., Zhang G., Maik R. N. Elucidating the urban levels, sources and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Pakistan: Implications for changing energy demand // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 619–620. P. 165–175. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.080.

- Liu S., Liu Q., Ostbye T. Levels and risk factors for urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in children living in Chongqing, China // *Science of the total environment*. 2017. Vol. 598. P. 553–561.
- Kufel L., Kufel I., Krolukowska J. The effect of lake water characteristics on decomposition of aquatic macrophytes // *Polish journal of ecology*. 2004. Vol. 52 (3). P. 261–273.
- Migaszwski Z. M., Galuszka A., Crock J. G., Lamothe P. J., Dolegowska S. Interspecies and interregional comparisons of the chemistry of PAHs and trace elements in mosses *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from Poland and Alaska // *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43. P. 1464–1473. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.11.035.
- Vane C. H., Rawlins B. G., Kim A. W., Moss-Hayes V., Kendrick C. P., Leng M. J. Sedimentary transport and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from managed burning of moorland vegetation on a blanket peat, South Yorkshire, UK // *Science of the Total Environment*. 2013. Vol. 449. P. 81–94. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.043.

Благодарности

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

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN PLANTS OF NATURAL FROST MOUND BOGS

YAKOVLEVA

Evgenia Vyacheslavovna

Institute of Biology of Komi SC UrB RAS, kaleeva@ib.komisc.ru

GABOV

Dmitriy Nikolaevich

Institute of Biology of Komi SC UrB RAS, gabov@ib.komisc.ru

Key words:

plants
frost mound bogs
polycyclic aromatic
hydrocarbons
natural phytocenoses
forest tundra

Summary: We determined the qualitative and quantitative composition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from dominating plants of tundra frost mound bogs using the method of high-performance liquid chromatography. It was stated that in natural conditions plants might contain large amounts of polyarenes. When accumulating in the plants they can further participate in the formation of PAH composition of tundra frost mound bogs. We revealed the significant correlations of the PAH composition between *Sphagnum riparium*, sedges, and cotton grasses, as well as between tree and shrub species. It indicates the similarity in PAH accumulation patterns inside the mentioned plant groups. The moss *Polytrichum strictum* and the branches of the trees *Picea abies* and *Betula pubescens* and shrubs *Salix lapponum* and *Betula nana* have a maximum accumulation of PAHs among swamp species. We identified the features of PAHs accumulation in various plant organs of the studied species. Thus, in grasses PAHs mainly accumulates in the underground parts. It was shown that in high water level conditions in frost mound bogs the PAHs accumulation decreased in grass roots in comparison with dry places. In mosses PAHs prevails in the dead parts. In shrubs and woody species polyarenes concentrate in branches and roots. The study of shoots *Picea abies* of different ages allowed us to reveal that 1-year-old shoots were more enriched in PAHs than 2-7-year-old shoots. This fact is largely associated with active growth processes in 1-year-old needles contributed to the formation of great amount of naphthalene. 2-7-year-old shoots are similar in PAH mass content. The obtained data on the background PAH content in swamp plants are useful for monitoring the polyarenes pollution. In the future, when conducting the additional study of PAH content in frost mound bogs on the basis of the obtained results it will be possible to assess the contribution of swamp plants to the formation of PAH composition in peats at different formation stages.

Received on: 26 February 2019

Published on: 28 June 2019

References

- Anis'kina M. V. Yakovleva E. V. apirena elodeey kanadskoy v vodnoy srede pyrene destruction by *Elodea canadensis* L. in water], *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2016. No. 3. P. 82–88.
- Dijk C., Doorn W., Alfen B. Long term plant biomonitoring in the vicinity of waste incinerators in the Netherlands, *Chemosphere*. 2015. Vol. 122. P. 45–51. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.11.002.
- Golovackaya E. A. Nikonova L. G. Decomposition of plant residues in peat soils of oligotrophic peatlands, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2013. No. 3 (23). P. 137–151.
- Hamid N., Syed J. H., Junaid M., Zhang G., Maik R. N. Elucidating the urban levels, sources and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Pakistan: Implications for changing energy demand, *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 619–620. P. 165–175. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.080.
- Kufel L., Kufel I., Krolkowska J. The effect of lake water characteristics on decomposition of aquatic macrophytes, *Polish journal of ecology*. 2004. Vol. 52 (3). P. 261–273.
- Liu S., Liu Q., Ostbye T. Levels and risk factors for urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in children living in Chongqing, China, *Science of the total environment*. 2017. Vol. 598. P. 553–561.
- Manasyrov R. M. Kirpotin S. N. Pokrovskiy O. S. Shirokova L. S. Features of the elemental composition of lake waters and macrophytes in thermokarst subarctic ecosystems of Western Siberia,

- Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2012. No. 3 (19). P. 186–198. DOI: 10.17223/19988591/19/15.
- Migaszewski Z. M., Galuszka A., Crock J. G., Lamothe P. J., Dolegowska S. Interspecies and interregional comparisons of the chemistry of PAHs and trace elements in mosses *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G. and *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. from Poland and Alaska, Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43. P. 1464–1473. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.11.035.
- Pastuhov A. V. Knoblauch K. Yakovleva E. V. Kaverin D. A. Markers of Soil Organic Matter Transformation in Permafrost Peat Mounds of Northeastern Europe, Pochvovedenie. 2018. No. 1. P. 48–61 DOI: 10.7868/S0032180X18010057.
- Vane C. H., Rawlins B. G., Kim A. W., Moss-Hayes V., Kendrick C. P., Leng M. J. Sedimentary transport and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from managed burning of moorland vegetation on a blanket peat, South Yorkshire, UK, Science of the Total Environment. 2013. Vol. 449. P. 81–94. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.043.
- Yakovleva E. V. Gabov D. N. Beznosikov V. A. Kondratenok B. M. Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils and Mosses of Southern Tundra at Different Distances from the Thermal Power Plant, Pochvovedenie. 2018. No. 5. P. 563–572. DOI: 10.7868/S0032180X18050052.
- Yakovleva E. V. Gabov D. N. Beznosikov V. A. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in plants of the tundra zone at open coal mining, Vestnik Instituta biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdeleniya RAN. 2016. No. 4 (198). P. 24–33.
- Yakovleva E. V. Gabov D. N. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in *Betula nana* (Betulaceae, Magnoliópsida) under the influence of Thermal Power Plant, Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal. 2018. No. 4. P. 495–512.
- Yurkovskaya T. K. Geography and cartography of vegetation in bogs of European Russia and adjacent territories. SPb.: BIN, 1992. 254 p.