

УДК 630\*181: 581.192.6.42

## ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

© 2015 г. О. В. Калугина, Е. Н. Тараненко, Т. А. Михайлова, О. В. Шергина

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН*

*664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132*

E-mail: olignat32@inbox.ru, elscato@mail.ru, mikh@sifibr.irk.ru, sherolga80@mail.ru

Поступила в редакцию 16.02.2015 г.

Техногенное загрязнение лесов полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) оценивалось по накоплению этих веществ в хвое сосны обыкновенной на территории, прилегающей к одному из крупнейших алюминиевых заводов – Братскому. Полевые работы проводились в 2012–2013 гг. на 34 пробных площадях (ПП), заложенных в сосняках разнотравных и осоково-разнотравных преимущественно III класса бонитета. Выявлено, что суммарное количество ПАУ в хвое достигает максимальных значений (более 6000 нг/г) на расстоянии до 3 км от завода, далее оно снижается и в 50 км от завода приближается к фоновым концентрациям. Наиболее высокое содержание ПАУ в хвое выявляется в направлениях, соответствующих преобладающему атмосферному переносу выбросов. Существенно изменяется и состав индивидуальных ПАУ в хвое: вблизи завода идентифицировано 18 соединений, на фоновой территории обнаружен минимальный их набор (6 соединений). В ассимиляционных органах сосны доминируют соединения, имеющие в структуре 3–4 ароматических кольца: фенантрен, флуорантен, пирен и хризен, их суммарная доля достигает 90 % от общего числа ПАУ. Меньшую долю (от 6 до 27 %) составляют соединения с пятью–шестью ароматическими кольцами: бенз[b]флуорантен, бенз[k]флуорантен, бенз[a]пирен, бенз[e]пирен, перилен, индено[1,2,3-с,d]пирен, бенз[g,h,i]перилен, дибенз[a,h]антрацен. Техногенный характер загрязнения лесов подтверждается высокими концентрациями бенз[a]пирена и перилена в хвое сосны на прилегающих к алюминиевому заводу территориях. Минимальные концентрации этих соединений выявляются на расстоянии 50 км и более от завода.

**Ключевые слова:** *сосна обыкновенная (Pinus sylvestris L.), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), соединения с разным количеством бензольных колец, бенз[a]пирен, перилен, алюминиевое производство.*

DOI: 10.15372/SJFS20150405

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время негативное влияние промышленных выбросов на лесные экосистемы, выполняющие важнейшие средообразующие и средозащитные функции, остается высоким. Существенный вклад в загрязнение лесов на территории РФ вносят предприятия цветной металлургии, в частности алюминиевая промышленность. В последние 10 лет обозначилась тенденция смещения алюминиевого производства в Сибирь, в том числе на территорию Байкальского региона, где увеличиваются мощности действующих предприятий или создаются новые. К сожалению, мировой опыт, свидетельствующий в пользу создания

небольших по мощности (до 200–300 тыс. т/год) заводов, расположенных вдали от густонаселенных территорий (Notcutt, Davies, 2001; Rodriguez et al., 2012), в нашей стране не учитывается. Так, в Восточной Сибири действуют четыре мощных алюминиевых завода, производящих в совокупности более 2.5 млн т алюминия в год, и продолжается строительство еще двух крупных предприятий по производству первичного алюминия. В Байкальском регионе функционируют два алюминиевых завода – Иркутский (ИрАЗ) и Братский (БрАЗ), выпускающих ежегодно около 1.5 млн т алюминия, при этом по мощности БрАЗ превосходит ИрАЗ в 3.5 раза (Государственный доклад..., 2013). В 2008 г. на ИрАЗе произве-

дена частичная модернизация оборудования, внедрены системы оборотного водоснабжения и сухой газоочистки, что значительно уменьшило выбросы ([www.rusal.ru](http://www.rusal.ru)), но основная часть цехов обоих заводов работает по технологии Содерберга с использованием самообжигающихся непрерывных анодов верхнего токоподвода.

В силу технологической специфики с выбросами алюминиевых заводов в атмосферу поступает значительное количество не только высокотоксичных фторидов, но и так называемые смолистые возгоны, представляющие собой смесь полициклических ароматических углеводородов (Методика ..., 2008). ПАУ относятся к стойким органическим загрязнителям и обладают фитотоксическим эффектом (Майстренко, Клюев, 2004; Квеситадзе и др., 2005), однако данных о степени загрязнения лесов этими веществами вблизи алюминиевых заводов, являющихся крупными источниками их поступления в атмосферу (Суздорф и др., 1994; Rodriguez et al., 2012), пока недостаточно.

Проведенные нами совместно с сотрудниками Лимнологического института СО РАН исследования на территории, загрязняемой выбросами ИркаЗа, показали, что ПАУ распространяются от источника на расстояние, не превышающее 20 км (Маринайте и др., 2013), в то время как фториды и другие неорганические поллютанты – на гораздо большие – до 60 км от завода (Mikhailova et al., 2011).

Мониторинг загрязнения лесов эмиссиями БрАЗа проводится нами почти непрерывно с 1970-х гг., однако обычно основное внимание уделяется воздействию высокоагрессивных фторидов, в то время как влияние органической фракции выбросов не рассматривается (Rozkhov, Mikhailova, 1993). Цель данной работы – оценить уровень техногенного загрязнения лесов ПАУ по накоплению этих соединений в хвое сосны обыкновенной на территории рассеивания выбросов крупного алюминиевого производства.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории, прилегающей к Братскому промышленному центру, в котором сконцентрировано большое количество предприятий. Ежегодный объем

их выбросов составляет 109 тыс. т, при этом 86 тыс. т (79 %) загрязняющих веществ поступает в атмосферу с эмиссиями БрАЗа (Государственный доклад..., 2013). Этот же завод является основным источником ПАУ, выделение которых в атмосферу происходит в процессе электролиза и при производстве анодной массы из каменноугольного пека (Баранов и др., 2012). Содержание ПАУ в выбросах корпусов электролиза нестабильно, оно может существенно меняться и зависит от конструкции электролизера и типов используемых электродов (Суздорф и др., 1994; Ахмедов и др., 2006).

Объектами исследования служили древостои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – наиболее распространенной в регионе лесобразующей породы, являющейся высокочувствительным биоиндикатором загрязнения лесов ПАУ (Горшков и др., 2006). На территории обследования преобладают подтаежные леса, в которых доминируют сосняки разнотравные и осоково-разнотравные преимущественно III класса бонитета. Натурные обследования древостоев проводили в 2012 и 2013 гг. на 34 ПП, заложенных в разных направлениях от БрАЗа на удалении до 60 км. Фоновые ПП заложили на удалении 100 км и более от завода. Закладку ПП осуществляли по общепринятым и подробно описанным в литературе методикам (ОСТ 56-69-83; Методы ..., 2002) с учетом направления преобладающего атмосферного переноса и особенностей рельефа местности в древостоях, сходных по возрасту (100–120 лет) и бонитету, размер каждой из них 0.1 га.

Загрязнение сосновых древостоев ПАУ оценивали по накоплению этих веществ в хвое сосны. Образцы хвои отбирали на каждой ПП с 5–6 деревьев II класса возраста, при этом анализировали хвою второго года жизни как наиболее физиологически активную (Цельникер и др., 1993). Определение ПАУ в хвое проводили по методике, изложенной ранее (Горшков и др., 2008a). Экстрагирование ПАУ из хвои осуществляли н-гексаном при облучении ультразвуком (Горшков, 2008). Выделенную фракцию ПАУ анализировали на хроматомасс-спектрометре Agilent GC System 6890, MSD 5973. Количественные измерения проводили по методу внутреннего стандарта. Концентрацию ПАУ в хвое (с учетом ее влажности) рассчитывали как среднее значение

для двух параллельных определений в одной пробе. Суммарная погрешность определения ПАУ в пробах – 7–10 %, погрешность содержания индивидуальных ПАУ – 8–12 % (Горшков, 2008). Для математической обработки данных использовали пакет компьютерных статистических программ (Среда статистических вычислений R, MapInfo).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализированные пробы хвои сосны, отобранные в зоне влияния выбросов БрАЗа, существенно различаются по накоплению суммарного количества ПАУ (рис. 1). Максимальные концентрации ПАУ (более 6000 нг/г), превышающие фоновый уровень в 200 раз, обнаружены на удалении 0.5 км от завода. На ПП, расположенных на расстоянии до 3 км от завода по разным направлениям, содержание ПАУ превышает фоновое в 60–70 раз. При

удалении от БрАЗа на расстояние до 10 км сумма ПАУ резко снижается, однако остается выше фоновых показателей в 15–25 раз, при удалении до 25 км – в 7–10 раз, при удалении до 35 км – в 4.5–7.0 раз, при удалении до 50 км – в 1.5–3.0 раза. Наиболее высокие суммарные концентрации ПАУ выявлены в хвое в юго-восточном, северо-восточном и северном направлениях от БрАЗа, что соответствует преобладающему атмосферному переносу выбросов. Самые низкие уровни ПАУ в хвое сосны обнаружены на расстоянии более 55 км по разным направлениям от БрАЗа, здесь сумма ПАУ в хвое практически соответствует региональному фоновому уровню, равному 30 нг/г.

Качественный и количественный состав индивидуальных ПАУ в хвое сосны существенно менялся на разных ПП. Так, в хвое деревьев, произрастающих вблизи алюминиевого завода (до 3 км), идентифицировано максимальное количество соединений – 18,

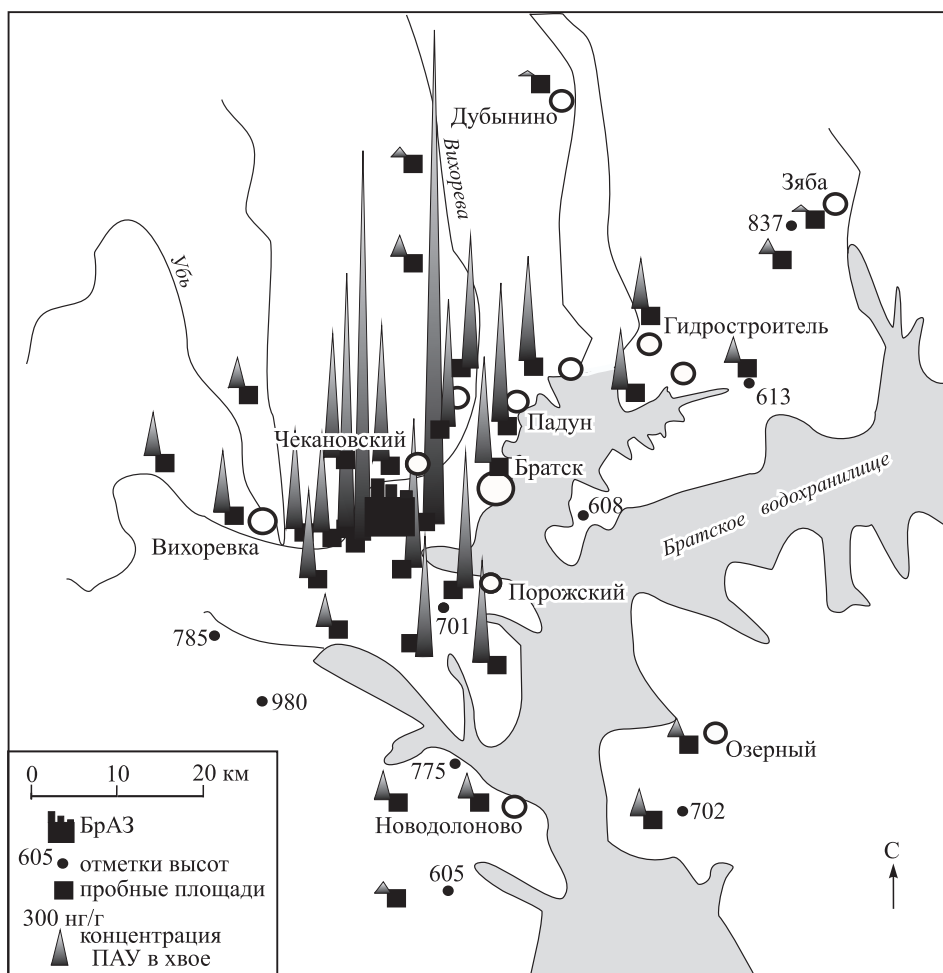


Рис. 1. Суммарные концентрации ПАУ в хвое сосны на территории влияния выбросов Братского алюминиевого завода.

Уровни накопления доминирующих ПАУ в хвое сосны на ПП, нг/г

Расстояние от завода, км	Фенантрен	Флуорантен	Пирен	Хризен	Суммарное содержание веществ
0.1–3	2767±264	1146±103	793±71	252±19	4958±397
4–10	687±67	280±31	216±23	100±8	1283±115
11–25	368±41	123±11	80±7	30±2	601±54
26–35	95±8	22±2	27±3	11±1	155±18
36–50	61±5	21±2	21±2	9±1	112±9

а по мере удаления от БрАЗа их число в пробах снижается: на удалении 10 км выявляется 17 соединений, 25 км – 15–16, 35 км – 13–14, 50 км – 9–12, для фоновых территорий характерен минимальный набор ПАУ – 6 соединений.

Обнаружено также, что в хвое сосны на всех ПП доминируют соединения, имеющие в структуре 3–4 ароматических кольца: фенантрен, флуорантен, пирен и хризен, суммарная доля которых 65–90 % от общего числа ПАУ. Наиболее высокие концентрации этих соединений зарегистрированы в хвое сосны на расстоянии до 3 км от завода, по мере удаления от него содержание этих ПАУ снижается (см. таблицу), что указывает на их техногенное происхождение. Помимо уже названных соединений в экстрактах хвои сосны обнаружены и другие ПАУ, содержащие 3–4 ароматических кольца – аценафтилен, аценафтен, антрацен, флуорен, бенз[а]антрацен. Они аккумулируются в хвое в меньших количествах, а на фоновых территориях содержатся либо в следовых концентрациях, либо отсутствуют, что также свидетельствует о техногенном характере их происхождения.

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, которые сообщают о количественном преобладании ПАУ с тремя–четырьмя ароматическими кольцами в растениях в зоне воздействия выбросов алюминиевых заводов (Thrane, 1987; Näf et al., 1994). Доминирование соединений, имеющих 3–4 ароматических кольца, выявлено и при исследовании хвои *Pinus radiata*, *P. rostrata* и *P. hybridus*, произрастающих в окрестностях алюминиевого завода в Аргентине (Rodriguez et al., 2012). Эти соединения образуются преимущественно в ходе пиролиза, их количественное содержание в выбросах предприятий зависит от температурных условий технологических процессов (Ровинский и др., 1988; Harvey, 1996).

Соединения, имеющие в структуре 5–6 ароматических колец (бенз[б]флуорантен, бенз[к]флуорантен, бенз[а]пирен, бенз[е]пирен, перилен, индено[1,2,3-с,d]пирен, бенз[g,h,i]перилен, дибенз[а,h]антрацен), в экстрактах хвои составляют гораздо меньшую долю (от 6 до 27 %) в общем содержании ПАУ (рис. 2). На удалении от БрАЗа, превышающем 25 км, и на фоновых территориях соединения с шестью кольцами вообще не выявляются.

Эти результаты подтверждаются литературными данными, согласно которым доля отдельных соединений в общем содержании ПАУ в растительных образцах обратно пропорциональна количеству ароматических колец в их структуре (Migaszewski et al., 2002). Возможно, это обусловлено более низкой летучестью данных ПАУ и, как следствие, меньшим радиусом их распространения от техногенных источников. К тому же известно, что

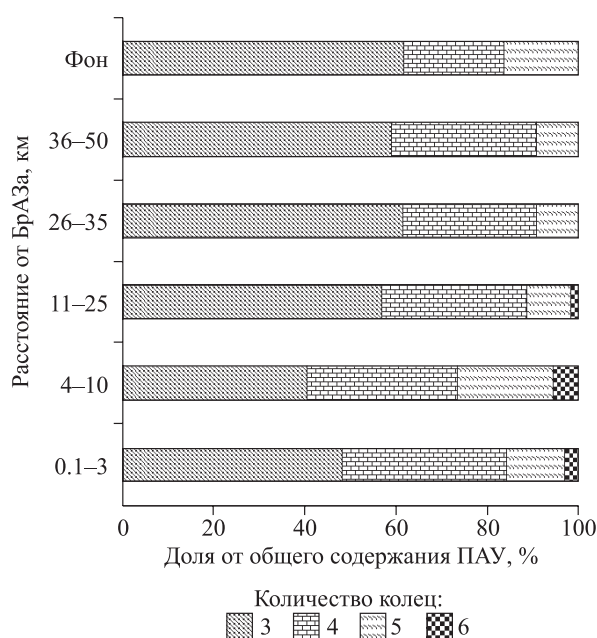
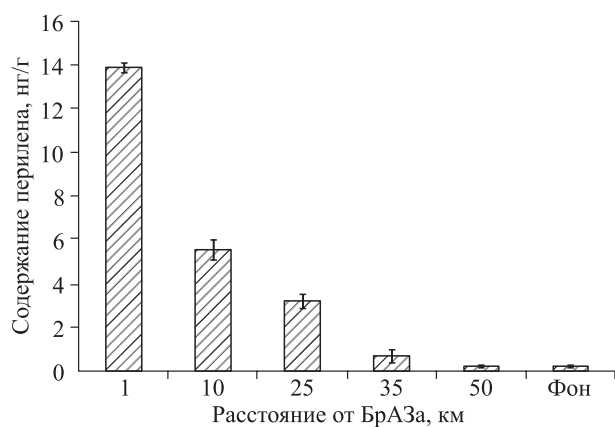


Рис. 2. Изменение содержания ПАУ с разным количеством ароматических колец в хвое сосны по мере удаления от БрАЗа.



**Рис. 3.** Содержание перилена в хвое сосны на разном удалении от БрАЗа.

соединения с пятью–шестью ароматическими кольцами особенно токсичны для биоты (Ровинский и др., 1988). В нашей стране уровень загрязнения атмосферы ПАУ принято оценивать по содержанию бенз[а]пирена – одного из наиболее распространенных веществ этой фракции. Установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) бенз[а]пирена: для атмосферного воздуха – 0.1 мкг/100 м<sup>3</sup>, почвы и донных отложений – 0.02 мг/кг, поверхностных вод – 5 нг/дм<sup>3</sup>, для растительных организмов ПДК отсутствует. Бенз[а]пирен, как известно, по отношению к теплокровным организмам обладает выраженной канцерогенной активностью (Шабад, 1973; Ракитский, Турусов, 2005), обнаружено также его негативное влияние на растения (Forrest et al., 1989). Нами выявлено, что максимальный уровень бенз[а]пирена, превышающий фоновые значения на 2 порядка, обнаруживается в хвое сосны на расстоянии до 3 км от БрАЗа, в 10 км его содержание выше фоновых в 30–45 раз, в 25 км – в 10–16, в 35 км – в 4–8, в 50 км – в 1.5–2.0 раза.

Результаты анализа хвои сосны на содержание другого компонента этой же фракции – перилена – показали, что вблизи БрАЗа его концентрация почти в 70 раз выше фонового уровня, на удалении до 10 км – в 28, на удалении до 25 км – в 16, на удалении до 35 км – в 3.4 раза, на удалении до 50 км и более перилена обнаруживается в следовых количествах (< 0.2 нг/г) или отсутствует (рис. 3). Перилена вызывает интерес в связи с возможностью использования его как вещества-маркера загрязнения окружающей среды эмиссиями алюминиевых заводов. Обоснованием этого служит

наличие большого количества перилена именно в выбросах алюминиевых заводов (Суздорф и др., 1994; Горшков и др., 2008б).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена оценка техногенного загрязнения сосновых лесов ПАУ, поступающими в атмосферу с выбросами мощного стационарного источника поллютантов данного класса – БрАЗа. Показано, что в наибольшей степени загрязнены насаждения на расстоянии до 3 км от завода, при этом суммарное содержание ПАУ в хвое деревьев достигает максимальных значений – более 6000 нг/г. С увеличением расстояния от БрАЗа происходит постепенное снижение накопления ПАУ в хвое, и только в 50 км от источника оно приближается к фоновым значениям. При удалении от завода существенно изменяется и состав индивидуальных ПАУ в хвое: вблизи БрАЗа (до 3 км) идентифицировано 18 соединений, на больших расстояниях их число снижается, для фоновой территории характерен минимальный набор ПАУ в хвое – 6 соединений. В составе ПАУ, аккумулируемых в хвое сосны, преобладают соединения с тремя–четырьмя ароматическими кольцами в структуре – фенантрен, флуорантен, пирен и хризен, суммарное их количество составляет от 65 до 90 % от общего содержания ПАУ. Меньшую долю (от 6 до 27 %) составляют соединения, имеющие в структуре 5–6 ароматических колец. Техногенный характер загрязнения лесов подтверждается высокими концентрациями бенз[а]пирена и перилена в хвое сосны на прилегающих к алюминиевому заводу территориях.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-04-31036 мол\_а, грант № 14-44-04067) с использованием оборудования Байкальского аналитического центра (ЦКП) ИИЦ СО РАН.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ахмедов С. Н., Друкарев В. А., Громов Б. С., Пак Р. В., Ахмедов А. С. Эмиссия загрязняющих веществ при электролитическом получении алюминия // Цветные металлы. 2006. № 1. С. 41–45.

- Баранов А. Н., Немчинова Н. В., Аникин В. В., Моренко А. В. Рециклинг и утилизация фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства // Вестник ИрГТУ. 2012. № 2 (61). С. 69–73.
- Горшков А. Г. Определение полициклических ароматических углеводородов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – биомониторе загрязнения атмосферы // Журн. аналит. химии. 2008. Т. 63. № 8. С. 880–886.
- Горшков А. Г., Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Верещагин А. Л. Хвоя сосны как тест-объект для оценки распространения органических поллютантов в региональном масштабе // Докл. АН. 2006. Т. 408. № 2. С. 247–249.
- Горшков А. Г., Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Верещагин А. Л. Накопление полициклических ароматических углеводородов в хвое сосны обыкновенной на территории Прибайкалья // Лесоведение. 2008а. № 2. С. 21–26.
- Горшков А. Г., Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Верещагин А. Л. Хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как биоиндикатор загрязнения атмосферы полициклическими ароматическими углеводородами // Химия в интересах устойчивого развития. 2008б. № 16. С. 159–166.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2012 году». Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2013. 337 с.
- Иркутский алюминиевый завод. <http://www.rusal.ru/development/modernization/>
- Квеситадзе Г. И., Хатисашвили Г. А., Садунишвили Т. А., Евстигнеева З. Г. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях. М.: Наука, 2005. 199 с.
- Майстренко В. Н., Клюев Н. А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323 с.
- Маринайте И. И., Горшков А. Г., Тараненко Е. Н., Чипанина Е. В., Ходжер Т. В. Распределение полициклических ароматических углеводородов в природных объектах на территории рассеивания выбросов Иркутского алюминиевого завода (г. Шелехов, Иркутская обл.) // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. № 21. С. 143–154.
- Методика расчета выбросов вредных веществ в атмосферу для предприятий цветной металлургии. Казахстан: Министерство охраны окружающей среды, 2008. 77 с.
- Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустойчивые: методы закладки. М., 1983. 11 с.
- Ракицкий В. Н., Турусов В. С. Мутагенная и канцерогенная активность химических соединений // Вестник РАМН. 2005. № 3. С. 7–9.
- Ровинский Ф. Я., Теплицкая Т. А., Алексеева Т. А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 224 с.
- Сыздорф А. Р., Морозов С. В., Кузубова Л. И., Анишиц Н. Н., Анишиц А. Г. Полициклические ароматические углеводороды в окружающей среде: источники, профили и маршруты превращения // Химия в интересах устойчивого развития. 1994. № 2. С. 511–540.
- Цельникер Ю. Л., Малкина И. С., Ковалев А. Г., Чмора С. Н., Мамаев В. В., Молчанов А. Г. Рост и газообмен CO<sub>2</sub> у лесных деревьев. М.: Наука, 1993. 256 с.
- Шабад Л. М. О циркуляции канцерогенов в окружающей среде. М.: Медицина, 1973. 368 с.
- Forrest V., Cody T., Caruso J., Warshawsky D. Influence of the carcinogenic pollutant benzo[a]pyrene on plant development: fern gametophytes // Chemico-biol. Interact. 1989. V. 72. N. 3. P. 298–307.
- Harvey R. G. Polycyclic aromatic hydrocarbons. Wiley, New York, 1996. P. 8–11.
- Migaszewski Z., Galuszka A., Paslawski P. Polynuclear aromatic hydrocarbons, phenols and trace metals in selected soil profiles and plant bioindicators in the Holy Cross Mountains, South-Central Poland // Environ. Internat. 2002. N. 33. P. 514–520.
- Mikhailova T. A., Kalugina O. V., Shergina O. V. Phytomonitoring of technogenic fluorides in Baikal region // Fluorine notes. 2011. N. 3 (76). <http://notes.fluorine1.ru/>
- Näf C., Broman D., Axelman J. Characterization of the PAH load outside an aluminium smelter

- on the Swedish Baltic coast // *Science of the Total Environ.* 1994. N. 156. P. 109–118.
- Notcutt G., Davies F.* Environmental accumulation of airborne fluorides in Romania // *Environ. Geochemistry and Health.* 2001. N. 23. P. 43–51.
- Rodrigues J., Wannaz E., Salazar M., Pignata M., Fangmeier A., Franzaring J.* Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the tree foliage of *Eucalyptus rostrata*, *Pinus radiata* and *Populus hybridus* in the vicinity of a large aluminium smelter in Argentina // *Atmosph. Environ.* 2012. N. 55. P. 35–42.
- Rozhkov A. S., Mikhailova T. A.* The effect of fluorine-containing emissions on conifers. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 143 p.
- Thrane K. E.* Ambient air concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons, fluoride, suspended particles and particulate carbon in areas near aluminium production plants // *Atmosph. Environ.* 1987. N. 21. P. 617–628.

## Technogenic Pollution of Pine Forests by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

O. V. Kalugina, E. N. Taranenko, T. A. Mikhailova, O. V. Shergina

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Science,  
Siberian Branch*

*Lermontova str., 132, Irkutsk, 664033 Russian Federation*

E-mail: olignat32@inbox.ru, elscato@mail.ru, mikh@sifibr.irk.ru, sherolga80@mail.ru

Anthropogenic pollution of boreal forests by polycyclic aromatic hydrocarbons was assessed by polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) concentrations in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees growing in the vicinity of the Bratsk aluminium smelter – one of the largest aluminium smelters in the world. The fieldwork was performed in 2012–2013 on 34 index plots, set in mixed herb and sedge-mixed herb pine forests (mostly site class III). It is shown that the total accumulation of PAHs reaches its highest level (more than 6000 ng/g) in pine needle samples collected at sites up to 3 km from the aluminium smelter. PAH total quantity decreases with increasing the distance from the pollution source and at a distance of 50 km reaches values close to background ones. The highest concentrations of PAHs were detected in needle samples collected at plots located from the plant in a direction corresponding to the prevailing emissions transfer. There was also detected a significant difference in compositions of individual PAHs: there were 18 compounds identified in samples collected near the aluminium smelter whereas only 6 compounds were identified in samples collected on the background territories. Among the PAHs accumulated in pine trees assimilation organs the substances with 3–4 aromatic rings (phenanthrene, fluoranthene, pyrene, chrysene) were dominant with their total number reaching 90 % of the total. Compound with 5–6 aromatic rings (benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, benzo[e]pyrene, perylene, indeno[1,2,3-c,d]pyrene, benzo[g, h, i]perylene, dibenz[a, h]anthracene) comprises a smaller proportion (from 6 to 27 %) in total PAHs content. High concentrations of benzo[a]pyrene and perylene in needle samples collected in the vicinity of the aluminum smelter indicate technogenic character of forest pollution.

**Key words:** Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), compound with different amount of aromatic rings, benzo[a]pyrene, perylene, aluminium industry.

**How to cite:** Kalugina O. V., Taranenko E. N., Mikhailova T. A., Shergina O. V. Technogenic pollution of pine forests by polycyclic aromatic hydrocarbons // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Siberian Journal of Forest Science). 2015. N. 4: 51–57 (in English with Russian abstract).