

УДК 504.054:547.68

## ИСТОЧНИКИ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИВОДНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА И ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

© 2018 г. М.Ю. Семенов, И.И. Маринайте,  
Л.П. Голобокова, О.И. Хуриганова

*Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ЛИН СО РАН),  
ул. Улан-Баторская, д.3, г. Иркутск, 664033, Россия.  
E-mail: smi@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.10.2017 г.

Проанализирован состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) аэрозоля приводного слоя воздуха и поверхностного слоя воды оз. Байкал. Полученные данные сопоставлены с данными о составе ПАУ возможных источников загрязнения. Показано, что состав источников ПАУ уникален, поэтому источники не могут быть объединены в группы по виду используемого топлива по пирогенному либо петрогенному происхождению. Согласно данным многомерного анализа состава ПАУ, число источников загрязнения и воды, и аэрозоля равно трем. Для их идентификации строили диаграммы смешения ПАУ в пробах воды и атмосферного аэрозоля, соответственно. Анализ диаграмм показал, что общий источник для воды и воздуха – нефть и нефтепродукты. Источниками ПАУ в воде, помимо нефтепродуктов, являются выбросы мазутных и угольных котлов. Два источника ПАУ в воздухе – сжигание древесины и целлюлозно-бумажное производство. Рассчитаны вклады источников в загрязнение, составлены картосхемы зон преобладающего влияния различных источников. Анализ схем показал, что состав ПАУ воды обусловлен, главным образом, действием удаленных неточечных источников, в то время как в загрязнении воздуха ПАУ участвуют, преимущественно, точечные источники, расположенные поблизости.

**Ключевые слова:** Байкал, полициклические ароматические углеводороды, источники выбросов, вода, аэрозоль, вклады источников.

DOI: 10.7868/S0869780318030067

### ВВЕДЕНИЕ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – класс органических соединений, состоящих из двух или более сконденсированных ароматических колец. Эти соединения относятся к суперэкоксикантам, поскольку крайне устойчивы и обладают мутагенными и канцерогенными свойствами. ПАУ образуются в результате неполного сгорания органического вещества или его разложения при недостатке кислорода, например, при образовании нефти [13]. Благодаря двойственному (естественному и антропогенному) происхождению ПАУ присутствуют во всех компонентах природной среды. Наибольший интерес представляют ПАУ, содержащиеся в поверхностных водах, поскольку вода – наиболее важный природный ресурс. Озеро Байкал – не только уникальный природ-

ный объект, но и крупнейший резервуар питьевой воды в регионе, поэтому выявление источников и путей поступления ПАУ в озеро является актуальной задачей. Несмотря на проведенные ранее исследования, посвященные изучению ПАУ в воде и донных осадках [2, 8], источники и пути их поступления в озеро до сих пор остаются не выясненными. Считается, что источник, расположенный непосредственно на берегу озера либо его притока, – главный загрязнитель прилегающей акватории [10]. Пути поступления ПАУ в водные объекты также изучены слабо. Известно лишь, что воздушные течения [3] и поверхностный сток [12] являются средствами транспортировки ПАУ как в растворенной [6], так и во взвешенной форме [7]. ПАУ могут поступать с водными и воздушными потоками из местных и удаленных источников [13], поэтому для установления местонахождения источников необхо-





Рис. 1. Состав ПАУ выбросов различных источников.

где  $T$  – трассер,  $f$  – доля (фракция) источника в смеси, подстрочная буква  $c$  – смесь, подстрочный цифровой индекс (1, 2, ...  $n$ ) обозначает источник, а надстрочный цифровой индекс (1, 2, ...  $m$ ) – трассер.

Для точек, лежащих за пределами области смешения, доли источников определялись отдельно. Доля источника, являющегося вершиной угла, противоположающего стороне фигуры, напротив которой расположена точка-выброс, приравнивается к нулю. Доли источников – вершин, прилежащих к этой стороне, – обратно пропорциональны расстояниям между перпендикуляром, опущенным из этой точки на сторону треугольника и упомянутыми вершинами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Установление источников ПАУ

Наибольшими концентрациями и в воде, и в аэрозоле характеризовались шесть самых легких ПАУ:  $\Phi$ ,  $A$ ,  $\PhiЛ$ ,  $П$ ,  $B(a)A$  и  $Xp$ . По-видимому, это связано с более высокой растворимостью и летучестью этих соединений по сравнению с остальными. Эти же три пары изомеров были использованы при анализе литературных данных о составе ПАУ различных источников

загрязнения. Как видно из рис. 1, состав ПАУ выхлопов дизельных двигателей сходен с составом ПАУ продуктов горения древесины, профиль выбросов асфальтовых заводов похож на профиль выбросов угольных котлов, выбросы пищевых производств близки по составу к выбросам производств металлургических и т.д. Отсутствие связи между составом выбросов и отраслевой принадлежностью предприятия обусловлено уникальной комбинацией состава используемого топлива, интенсивностью производства, степенью износа оборудования и его производителем. Индивидуальность профилей ПАУ выбросов предприятий обуславливает необходимость открытого доступа к данным об их инвентаризации для установления источников загрязнения [12].

Согласно данным анализа МГК, в случае и воды, и в случае аэрозоля максимальная доля варируемости исходных данных объясняется двумя факторами (компонентами) и, соответственно, действием на каждый из объектов трех источников ПАУ. При этом общий для них всего один – нефть и ее производные (рис. 2). Два других источника ПАУ в воде должны быть выбраны из трех других возможных вариантов (угольные котлы, мазутные котлы и горение древесины), точки которых наиболее полно охватывают поле точек проб воды (рис. 2а). Как видно из рисунка

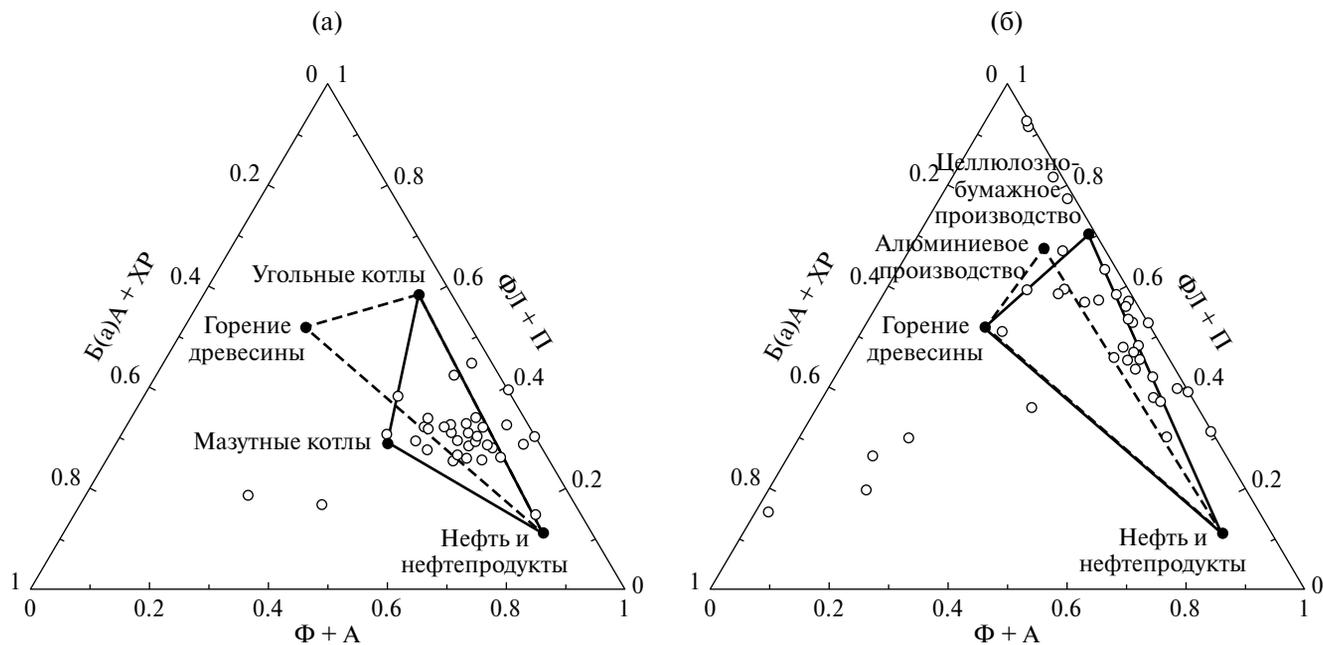


Рис. 2. Диаграммы смешения вещества выбросов источников ПАУ в воде оз. Байкал (а) и приводном слое воздуха (б).

ка, горение древесины в последнюю очередь может претендовать на роль источника, поскольку его точка лежит слишком далеко от пятна проб.

Возможными источниками ПАУ аэрозоля, помимо нефти и нефтепродуктов, могут быть целлюлозно-бумажное производство, алюминиевое производство и горение древесины. В отличие от воды, на роль источника ПАУ приводного слоя воздуха могут претендовать выбросы сразу двух производств – целлюлозно-бумажного и алюминиевого (рис. 2б). Для того чтобы убедиться, что источников ПАУ у каждого из объектов среды действительно по три, а не по четыре, были построены псевдотрехмерные диаграммы смешения (рис. 3). Из рис. 3а и 3б видно, что все точки проб лежат за пределами областей смешения, имеющих форму несимметричных четырехгранных пирамид. Для большей наглядности мы построили к каждой из уже имеющихся пирамид еще по одной, вершиной которой является одна из точек проб (серая точка) и грани которой пересекают плоскость общего основания двух пирамид. Следовательно, источников в обоих случаях – три. Вопрос, является ли алюминиевое производство источником ПАУ аэрозоля, пока остается открытым.

Различия в источниках ПАУ между воздухом и водой не объясняют различий в распределении точек проб на диаграммах смешения. Как видно из рис. 2 и 3, точки проб воды сгруппированы в виде пятна внутри треугольника смешения,

в то время как точки проб аэрозоля разбросаны вдоль гипотенузы. Компактное расположение проб воды обусловлено единым для всех притоков механизмом фракционирования ПАУ в процессе их транспортировки с подстилающей поверхности в озеро через речную сеть. Различия в расположении проб аэрозоля объясняются различиями в метеоусловиях, в частности, в скорости и направлении ветра в разных точках акватории.

### Установление местонахождений источников ПАУ

Для того, чтобы выявить местоположения источников, были рассчитаны величины их вкладов в загрязнение, и построены картосхемы зон их преобладающего влияния. Наличие трех источников загрязнения подразумевает выбор двух трассеров. В их качестве традиционно использовались суммарные концентрации преобладающих компонентов –  $\Phi + A$  и  $\Phi L + П$ , нормированные по концентрациям ПАУ, присутствующих в объектах среды в значительно меньших количествах –  $B(a)A + XP$  [12].

Наибольшие величины вкладов нефти и нефтепродуктов в загрязнение поверхностного слоя воды Байкала ПАУ обнаружены в центральной котловине озера (рис. 4а). Несколько меньшие величины характерны для северной и южной котловин. Довольно четкая локализация пятен загрязнения говорит о том, что оно появилось

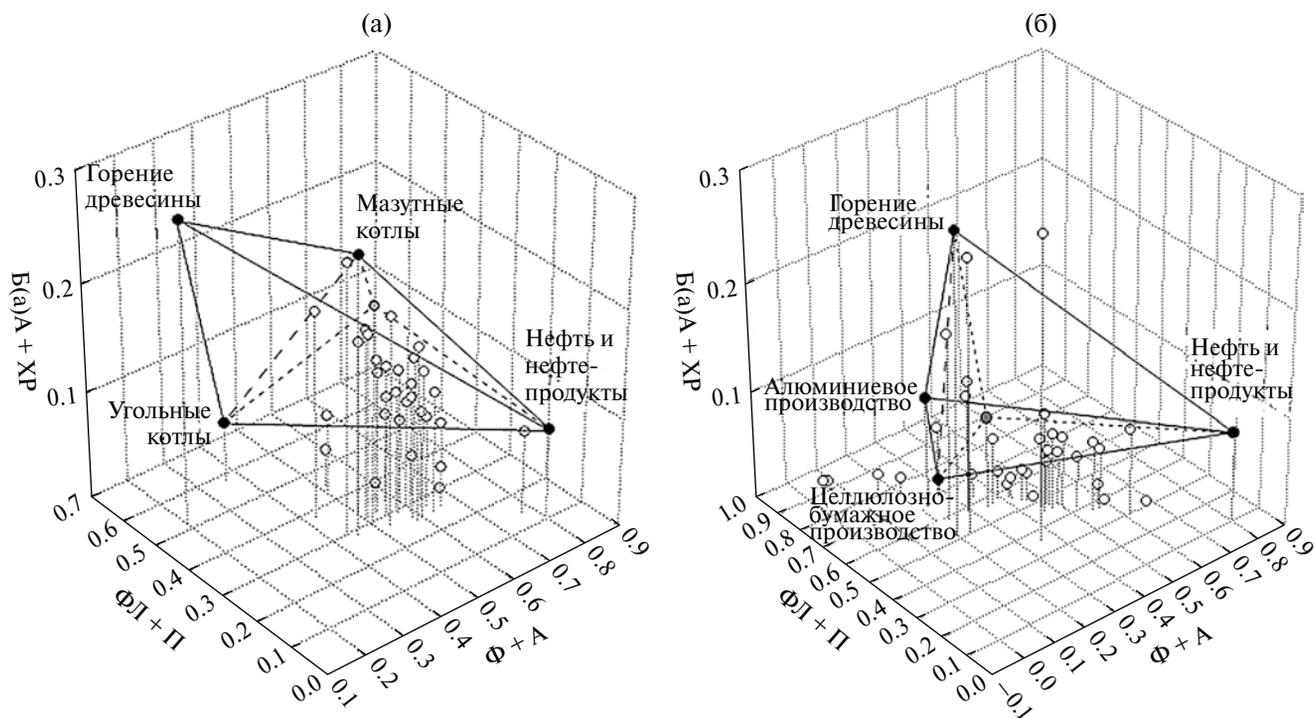
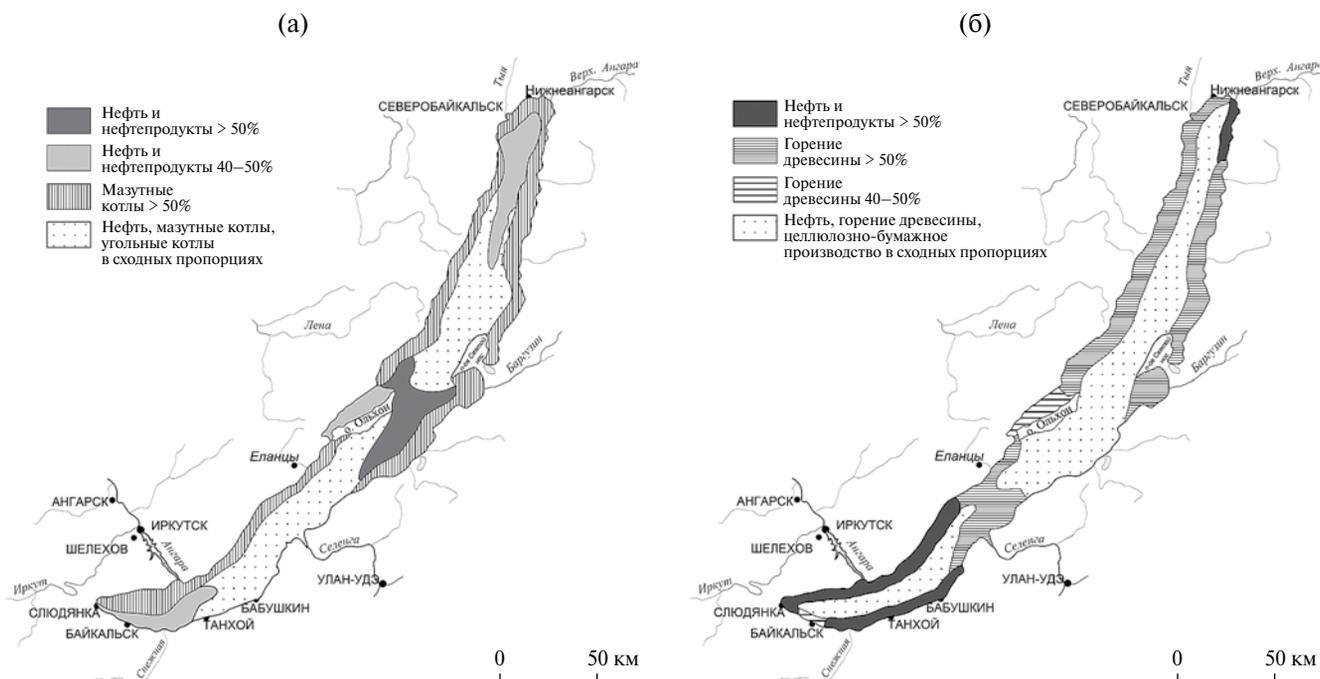


Рис. 3. Псевдотрехмерные диаграммы смешения вещества выбросов источников ПАУ в воде оз. Байкал (а) и приводном слое воздуха (б).

в результате действия расположенных поблизости точечных источников. По всей видимости, источник загрязнения центральной котловины – естественные выходы нефти, отмечавшиеся в Баргузинском заливе и к югу от о. Ольхон [5]. На севере и на юге Байкала загрязнение приурочено к прибрежным территориям с наибольшей плотностью населения – городам Слюдянка, Байкальск, Северобайкальск, поселкам Култук и Нижнеангарск. Можно предположить, что источниками загрязнения в этом случае служат нефтепродукты, как непосредственно вылившиеся в озеро, так и вынесенные притоками с водосборной территории. Наибольшие вклады мазутных котлов отмечены в узкой полосе воды вдоль всей береговой линии, за исключением небольшого участка в юго-восточной части озера. Контур загрязнения указывает на удаленность и множественность его источников. Возможно, оно обусловлено региональным или даже глобальным переносом и последующим смывом и выносом реками субмикронных частиц сажи, характерных для выбросов мазутных котлов. В пользу дальнего переноса говорит и то, что доля мазута в структуре топливного рынка региона в разы меньше, чем угля [11]. Неожиданно низкий вклад (не более 35%) угольных котлов обусловлен совместным действием наиболее удаленных от Байкала (мазутных кот-

лов) и, наоборот, наиболее близких к нему (нефтепроявлений) источников ПАУ.

Нефть и нефтепродукты также являются источниками ПАУ аэрозоля приводного слоя воздуха (рис. 4б). Наибольшие их вклады отмечены вдоль всего побережья южной котловины (за исключением маленького участка возле Байкальска) и на северо-востоке (близ устья Верхней Ангары). Вероятно, это связано с хозяйственной деятельностью населения непосредственно на побережье. Хотя нельзя исключить влияние северо-западного переноса ПАУ в южной котловине. Воздушные массы движутся по долине р. Ангары и, насыщаясь влагой над озером, вызывают обильные осадки (до 1200 мм/год) на наветренных склонах хребта Хамар-Дабан, расположенного напротив ее истока. Наибольший же вклад в загрязнение воздуха ПАУ вносят лесные пожары. Их влияние отмечается в широкой полосе воды вдоль побережий северной и центральной котловин, а также по всей ширине озера от дельты Селенги до южной оконечности о. Ольхон. То, что это загрязнение – результат пожаров на склонах гор, обращенных к озеру, не вызывает сомнений [1]. Вклад третьего источника ПАУ в загрязнение воздуха над Байкалом невелик и редко превышает 30%. Наибольшая площадь его влияния приходится на центральную котловину, так



**Рис. 4.** Картограммы пространственного распределения величин вкладов источников ПАУ в загрязнение воды оз. Байкал (а) и приводного слоя воздуха (б).

что, скорее всего, источник – Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат, а не алюминиевый завод, расположенный в Шелехове. Хотя их совместное действие в южной котловине тоже не исключено, принимая во внимание северо-западный перенос.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящим исследованием установлено, что общий источник загрязнения воды Байкала и приводного слоя воздуха – нефть и нефтепродукты. Помимо нефти источниками ПАУ байкальской воды являются мазутные и угольные котлы, а источниками ПАУ аэрозоля – горение древесины и выбросы целлюлозного завода. Различия в источниках между водой и воздухом обусловлены тем, что состав ПАУ воды отражает характер землепользования на всей территории водосборного бассейна в течение всего времени водообмена в озере, в то время как состав ПАУ воздуха отражает краткосрочную метеорологическую ситуацию.

Так, например, влияние лесных пожаров на состав ПАУ воды незначительно по причине их малой продолжительности по сравнению с отопительным сезоном. Пространственное распределение ПАУ в воде и воздухе также различное. Картина влияния отдельных источников на за-

грязнение аэрозоля ПАУ более мозаична по сравнению с картиной загрязнения воды, поскольку в большей степени обусловлена действием местных точечных источников. Для уточнения полученных закономерностей распространения ПАУ от различных источников необходимо более детальное опробование воды и воздуха на предмет качественного и количественного состава ПАУ с привлечением данных об их составе в верхнем слое донных осадков. Кроме того, индивидуальность профилей ПАУ выбросов предприятий обуславливает необходимость инвентаризации всех потенциальных источников загрязнения в бассейне озера Байкал.

*Исследование осуществлено в рамках гос. задания № 0345–2016–0008 (полевые работы и химический анализ) с использованием оборудования Байкальской ЦКП при поддержке Правительства Иркутской области и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 17–45–388054 (анализ данных) и 17–29–05068 (картирование)).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балин Ю.С., Клемашева М.Г., Коханенко Г.П., Насонов С.В., Новоселов М.М., Пеннер И.Э. Лидарные исследования вертикальной структуры аэрозольных полей атмосферы над озером Байкал в период лесных пожаров // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 8. С. 689–693.

2. Батоев В.Б., Вайсфлог Л., Венцель К.Д., Цыденова О.В., Палицына С.С. Загрязнение бассейна озера Байкал: полиароматические углеводороды // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. № 11. С. 837–842.
3. Белых Л.И., Малых Ю.М., Пензина Э.Э., Смагунова А.Н. Источники загрязнения атмосферы полициклическими ароматическими углеводородами в промышленном Прибайкалье // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15. № 10. С. 944–948.
4. Ким И.Н., Ким Г.Н., Кривошеева Л.В., Хитрово И.А. Исследование состава полициклических ароматических углеводородов в копильном дыме // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 1999. № 5–6. С. 98–102.
5. Конторович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И., Бурштейн Л.М., Земская Т.И., Костырева Е.А., Калмычков Г.В., Хлыстов О.М. Нефтегазозносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. т. 48. № 12. С. 1346–1356.
6. Маринайте И.И. Полициклические ароматические углеводороды в воде притоков Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 6. С. 499–503.
7. Немировская И.А. Углеводороды донных осадков эстуария Северной Двины // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 6. С. 737–744.
8. Никаноров А.М., Резников С.А., Матвеев А.А., Аракелян В.С. Мониторинг полициклических ароматических углеводородов в бассейне оз. Байкал в районах сильного антропогенного воздействия // Метеорология и гидрология. 2012. № 7. С. 66–76.
9. Пшенин В.Н. Транспорт как источник полициклических ароматических углеводородов в окружающей среде // Транспорт: наука, техника, управление. М.: ВИНТИ, 1995. № 8. С. 27–44.
10. Резников С.А., Аджиев Р.А. Стойкие органические загрязняющие вещества в донных отложениях на севере оз. Байкал в районе влияния трассы Байкало-Амурской магистрали // Метеорология и гидрология. 2015. № 3. С. 87–97.
11. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Майсюк Е.П., Тугузова Т.Ф., Иванов Р.А. Энергетическая инфраструктура центральной экологической зоны Байкальской природной территории: воздействие на природную среду и пути его снижения // География и природные ресурсы. 2016. № 5. С. 218–224.
12. Семенов М.Ю., Маринайте И.И. Оценка вкладов множественных источников в загрязнение территории полициклическими ароматическими углеводородами (г. Шелехов, Иркутская область) // Геоэкология. 2014. № 6. С. 560–568.
13. Суздорф А.Р., Морозов С.В., Кузубова Л.И., Аншиц Н.Н., Аншиц А.Г. Полициклические ароматические углеводороды в окружающей среде: источники, профили и маршруты превращения // Химия в интересах устойчивого развития. 1994. Т. 2. № 2–3. С. 511–540.
14. Хатмуллина Р.М., Сафарова В.И., Сафаров А.М. Эмиссия полициклических ароматических углеводородов в окружающую среду // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 11. С. 34–37.
15. Aas E., Baussant T., Balk L., Liewenborg B., Andersen O.K. PAH metabolites in bile, cytochrome P4501A and DNA adducts as environmental risk parameters for chronic oil exposure: a laboratory experiment with Atlantic cod // Aquatic toxicology. 2000. N. 51. P. 241–258.
16. Galarneau E. Source specificity and atmospheric processing of airborne PAHs: implications for source apportionment // Atmospheric Environment. 2008. V. 42. P. 8139–8149.
17. Kerr J.M., Melton H.R., McMillen S.J., Magaw R.I., Naughton G., Little G.N. Polyaromatic hydrocarbon content in crude oils around the world // Exploration and production: Austin, Texas, USA, 1999. P. 359–368.
18. Larsen R.K., Baker J.E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods // Environmental Science and Technology. 2003. V. 37. P. 1873–1881.
19. Tobiszewski M., Namiesnik J. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources // Environmental pollution. 2012. V. 162. P. 110–119.
20. Wang Z.D., Fingas M., Shu Y.Y., Sigouin L., Landriault M., Lambert P. Quantitative characterization of PAHs in burn residue and soot samples and differentiation of pyrogenic PAHs from petrogenic PAHs – the 1994 Mobile Burn Study // Environmental Science and Technology. 1999. V. 33. P. 3100–3109.

## REFERENCES

1. Balin, Yu.S., Klemasheva, M.G., Kokhanenko, G.P., Nasonov, S.V., Novoselov, M.M., Penner I.E. *Lidarnye issledovaniya vertikal'noi struktury aerazol'nykh polei atmosfery nad ozerom Baikal v period lesnykh pozharov* [Lidar studies of vertical structure of aerosol fields over Lake Baikal during the period of forest fires]. *Optika atmosfery i okeana*, 2016, vol. 29, no. 8, pp. 689–693. (in Russian)
2. Batoev, V.B., Vaiflog, L., Ventsel, K.-D., Tsidenova, O.V., Palitsina, S.S. *Zagryaznenie basseina ozera Baikal: poliaromaticheskie uglevodorodi* [Pollution of the Lake Baikal: polyaromatic hydrocarbons]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo rasvitiya*, 2003, no. 11, pp. 837–842. (in Russian)
3. Belikh, L.I., Malikh, Yu.M., Penzina, E.E., Smagunova A.N. *Istochniki zagryazneniya atmosfery polititsiklicheskimy aromaticheskimi uglevodorodami v promyshlennom Pribaikal'e* [Sources of polycyclic aromatic hydrocarbon air pollution in industrial CisBaikal region]. *Optika atmosfery i okeana*, 2002, V. 15, no. 10, pp. 944–948. (in Russian)

4. Kim, I.N., Kim, G.N., Krivosheeva, L.V., Khitrovo, I.A. *Issledovaniya sostava politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v koptil'nom dyme* [Investigating the composition of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke from smoking chambers]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*, 1999, vol. 5–6, pp. 98–102. (in Russian)
5. Kontorovich, A.E., Kashirtsev, V.F., Moskvina, V.I., Burshtein, L.M., Zemskaya, T.I., Kostyreva, E.A., Kalmychkov, G.V., Khlystov, O.M. *Neftegazonosnost' otlozheniy ozera Baikal* [Oil-and-gas-bearing capacity of Lake Baikal], 2007, vol. 48, no. 12, pp. 1346–1356. (in Russian)
6. Marinaite, I.I. *Politsiklicheskie aromatischeskie uglevodorody v vode pritokov Yuzhnogo Baikala* [Polycyclic aromatic hydrocarbons in water of tributaries of the Southern Baikal]. *Optika atmosfery i okeana*, 2006, vol. 19, no. 6, pp. 499–503. (in Russian)
7. Nemirovskaya, I.A. *Uglevodorody donnykh osadkov estuariya Severnoi Dviny* [Hydrocarbons of bottom sediments of Severnaya Dvina estuary]. *Vodnye resursy*, 2007, vol. 34, no. 6, pp. 737–744. (in Russian)
8. Nikanorov, A.M., Reznikov, S.A., Matveev, A.A., Arakelyan, V.S. *Monitoring politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v basseine oz. Baikal v rayonakh sil'nogo antropogennogo vozdeistviya* [Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in areas of intensive impact in Lake Baikal basin]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, no. 7, pp. 66–76. (in Russian)
9. Pshenin, V.N. *Transport kak istochnik politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v okruzhayushchei srede* [Transport as the source of polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*, M.: VINITI, 1995, no. 8, pp. 27–44. (in Russian)
10. Reznikov, S.A., Adzhiev, R.A. *Stoikie organicheskie zagryaznyayushchiye veshchestva v donnykh otlozheniyakh na severe oz. Baikal v raione vliyaniya trassy Baikalo-Amurskoi magistrali* [Persistent organic pollutants in bottom sediments in the north of Lake Baikal in the area of impact of Baikal-Amur railway]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2015, no. 3, pp. 87–96. (in Russian)
11. Saneev, B.G., Ivanova, I. Yu., Maisyuk, E.P., Tuguzova, T.F., Ivanov, R.A. *Energeticheskaya infrastruktura tsentralnoi zony Baikalskoi prirodnoy territorii: vozdeistvie na prirodnyuyu sredu i puti ego snizheniya* [Energy infrastructure of the central zone of Baikal natural territory: the influence on environment and ways to its decrease]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2016, no. 5, pp. 218–224. (in Russian)
12. Semenov, M. Yu., Marinaite, I.I. *Otsenka vkladov mnozhestvennykh istochnikov v zagryazneniye territorii politsiklicheskimi aromatischeskimi uglevodorodami (g. Shelekhov, Irkutskaya oblast)* [Assessment of contributions of multiple sources of polycyclic aromatic hydrocarbons to territory pollution (city of Shelekhov, Irkutsk region)]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 2014, no. 6, pp. 560–568. (in Russian)
13. Suzdorf, A.R., Morozov, S.V., Kuzubova, L.I., Anshits, N.N., Anshits, A.G. *Politsiklicheskiye aromatischeskiye uglevodorody v okruzhayushchei srede: istochniki, profili i marshruty prevrashcheniya* [Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment: sources, profiles, and transformation paths]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 1994, vol. 2, no. 2–3, pp. 511–540. (in Russian)
14. Khatmullina, R.M., Safarova, V.I., Safarov, A.M. *Emisiya politsiklicheskikh aromatischeskikh uglevodorodov v okruzhayushchuyu sredu* [Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons into the environment]. *Bezopastnost zhiznedeyatelnosti*, 2014, no. 11, pp. 34–37. (in Russian)
15. Aas, E., Baussant, T., Balk, L., Liewenborg, B., Andersen, O.K. PAH metabolites in bile, cytochrome P4501A and DNA adducts as environmental risk parameters for chronic oil exposure: a laboratory experiment with Atlantic cod. *Aquatic toxicology*, 2000, no. 51, pp. 241–258.
16. Galarneau, E. Source specificity and atmospheric processing of airborne PAHs: implications for source apportionment. *Atmospheric Environment*, 2008, vol. 42, pp. 8139–8149.
17. Kerr, J.M., Melton, H.R., McMillen, S.J., Magaw, R.I., Naughton, G., Little, G.N. Polyaromatic hydrocarbon content in crude oils around the world. *Exploration and production*, Austin, Texas, USA, 1999, pp. 359–368.
18. Larsen, R.K., Baker, J.E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods. *Environmental Science and Technology*. 2003, vol. 37, pp. 1873–1881.
19. Tobiszewski, M., Namiesnik, J. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. *Environmental pollution*, 2012, vol. 162, pp. 110–119.
20. Wang, Z.D., Fingas, M., Shu, Y.Y., Sigouin, L., Landriault, M., Lambert, P. Quantitative characterization of PAHs in burn residue and soot samples and differentiation of pyrogenic PAHs from petrogenic PAHs – the 1994 Mobile Burn Study. *Environmental Science and Technology*. 1999, vol. 33, pp. 3100–3109.

## **SOURCES OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN NEAR WATER AIR LAYER AND SURFACE WATER LAYER OF LAKE BAIKAL**

**M. Yu. Semenov, I.I. Marinaite, L.P. Golobokova, O.I. Khuriganova**

*Limnological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (LIN SB RAS),  
Ulan-Batorskaya ul., 3, 664033 Irkutsk, Russia  
E-mail: smu@mail.ru*

The composition of polycyclic aromatic hydrocarbons in near-water air layer and surface water layer of Lake Baikal was investigated. The obtained compositions were compared to the PAH compositions of possible emission sources. It was shown that the PAH composition of each source is unique, thus the sources cannot be grouped by fuel type or by pyrogenic/petrogenic origin. According to the multivariate statistical analysis, the number of sources was equal to three both for near water air and surface water. To identify these sources, the mixing diagrams were drawn. The mixing diagrams pointed to oil and petroleum products as the common source for both environmental compartments. Besides the oil and petroleum products, the wood combustion and paper mills were also the sources of PAHs in the air. The other two sources of PAHs in water were oil and coal boilers. The contribution of identified sources to air and water pollution were calculated and mapped. The composition of PAHs in water is found to be controlled by remote nonpoint sources, whereas the composition of PAHs in air is due to local point sources.

**Key words:** *Baikal, polycyclic aromatic hydrocarbons, emission sources, water, aerosol, source contributions.*