

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ
НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ
АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ (ПАУ)
В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ И МОРСКОЙ ВЗВЕСИ
НА АКВАТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ТИХОГО ОКЕАНА**

Нерода А.С., Мишукوف В.Ф.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
vmishukov@poi.dvo.ru*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются стойкими органическими соединениями различных структур, содержащими два или более ароматических колец. Значительная токсичность ПАУ делает их важным предметом экологических исследований. Они доказали мутагенное воздействие [1] и канцерогенное воздействие на живые организмы [2]. Фактический уровень токсичности ПАУ варьируется, и, по данным Агентства по регистрации токсичных веществ и болезней, 17 часто встречающихся ПАУ представляют наибольшую озабоченность.

Источники ПАУ могут быть как природными, так и антропогенными. Природные источники включают лесные пожары, сжигание травы, вулканическую активность и биологическую активность микроорганизмов [3]. Антропогенные источники, преобладающие в городских условиях, включают сжигание древесины, угля, бензина и дизельного топлива [4] и другие промышленные процессы [5]. ПАУ, как правило, нерастворимы в воде, и они обычно встречаются адсорбированных на частицах и постепенно оседают на дне водоемов, как глубоководные отложения [6], где они могут впоследствии нанести вред бентосным организмам [7]. ПАУ активно накапливаются в водных организмах, а затем передаются людям через пищевые цепи, создавая тем самым угрозу для здоровья человека [8]. Гонсалес-Гая сообщил, что диффузные ПАУ из атмосферы в океан представляют собой ключевое возмущение океанического углеродного цикла, а глобальное поступление атмосферных полициклических арома-

тических углеводородов в глобальный океан оценивается в 90000 тонн в месяц [9].

Атмосферные аэрозоли и морская вода были отобраны в ходе 56 рейса НИС «Профессор Гагаринский», схема которого приведена на рисунке 1. Атмосферные аэрозоли были сконцентрированы на кремниевые мембранные фильтры Pallflex TISSUQUARTZ (8x10 inch) с помощью японской установки (Model 120SL, KIMOTO ELECTRIC, Japan) при прокачке от 1500 до 2500 м³ воздуха. Затем эти фильтры разрезались на мелкие кусочки, помещались в колбу, где проводили экстракцию ПАУ 40 мл смесью бензол-этанол (3:1) при ультразвуковой активации в течение 30 мин. В экстракт вводили внутренний стандарт (Nap-d8, Phe-d10, Ace-d10, Pyr-d10, and BaP-d12). Дальнейшее проведение анализа проводили по методике, описанной в работе [10]. Результаты анализа ПАУ в аэрозолях приведены на рисунке 1.

Впервые проведен синхронный отбор и анализ проб атмосферного аэрозоля и поверхностного слоя морских вод, в которых были определены концентрации 14 полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) на акватории Японского и Охотского морей и северо-западной части Тихого океана (рис. 1). Взвешенное вещество морской воды концентрировали на фильтры Whatman GF/F (диаметр 55 мм, размер пор 0,7 μm) при фильтровании 18 л морской воды при вакууме <0,015 МПа. Экстракцию и анализ ПАУ выполняли по методике, приведенной в работе [3, 4]. Результаты анализа ПАУ во взвешенном веществе морской воды приведены на рисунке 1.2.

Статистический анализ. Расчет обратных траекторий движения воздушных масс от района отбора проб воды и атмосферного аэрозоля был выполнен на основе The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT, version 4,9) model. Для этого использовали метеорологические данные на сетке 0.5°, представленные Global Data Assimilation System (GDAS) model, которые были рассчитаны National Weather Service's National Center for Environmental Prediction (NCEP). Для образцов атмосферного аэрозоля было получено 625 траекторий с часовым интервалом. Для образцов взвешенного вещества обратные траектории строились на 5 суток до момента отбора проб воды и было получено 3120 траекторий.

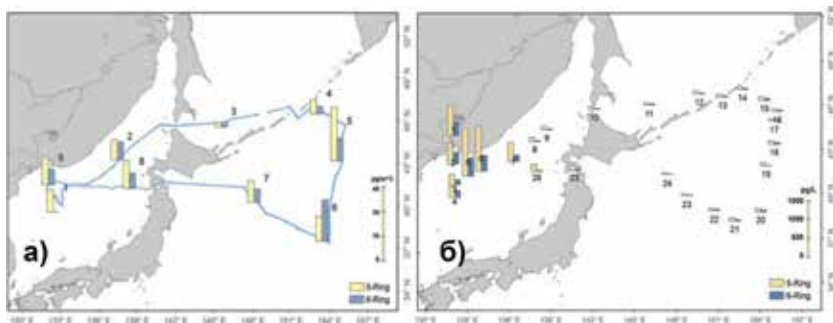


Рис. 1. Схема маршрута рейса 56 НИС «Профессор Гагаринский» (13.06-09.07.2012), точек отбора проб морской воды. Изменение концентрации суммы пятиколичесных и суммы шестиколичесных ПАУ в: а) атмосферных аэрозолях (пг/м³) и б) поверхностной морской воде (пг/л)

Алгоритм расчета числа активных пожаров рассчитывал число пожаров на сетке $0,5^\circ$ на каждой линии обратной траектории движения воздушной массы. Для антропогенных источников таким же образом рассчитывалось число тепловых станций и количество населения на сетке $0,5^\circ$ на каждой линии обратной траектории движения воздушной массы.

Данные о количестве пожаров получены по данным Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) (разрешение 375 м) и Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (разрешение 1 км).

Данные о плотности населения представлены (число людей на 1 км^2) в the Gridded Population of the World, Version 4 (CIESIN 2018).

Данные о расположении угольных и газовых электростанций указаны в The Global Power Plant Database. Согласно U.S. Energy Information Administration data в Китае основным топливом являлись битуминизированные угли в 2012 (<https://www.eia.gov/beta/international/>).

Анализ обратных траекторий и спутниковых данных об активных лесных пожарах показал, что важнейшим источником ПАУ в морской воде являлось поступление от выбросов лесных пожаров (рис. 2). Так коэффициент корреляции между числом пожаров и суммой ПАУ и составлял 0,62 ($p=0,001$), суммой 5-количесных ПАУ – 0,77 ($p=0,0001$), суммой 6-количесных – 0,71 ($p=0,0001$), концентрацией бенз(а)пирена – (0,87, $p=0,001$). Параметр плотности населения

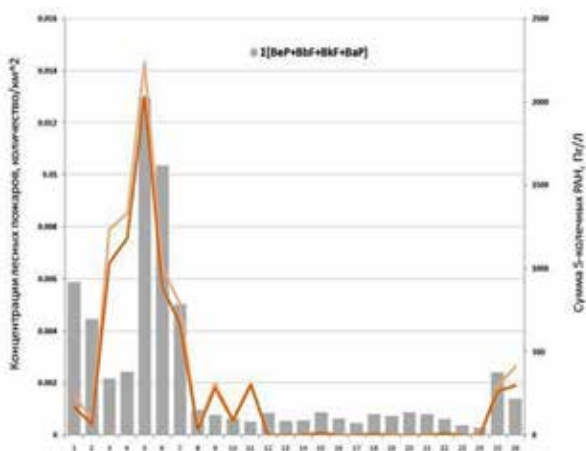


Рис. 2. Взаимосвязь между содержанием суммы пяти-количесных ароматических углеводородов во взвешенном веществе морских вод и числом активных лесных пожаров на территории Китая и Восточной Сибири (число пожаров на 1000 км²), расположенных вдоль обратной траектории движения воздушных масс по данным MODIS Active Fires product (зеленая линия – достоверность 45–100%, красная линия – достоверность 55-100%). Пробы 1–9 – Японское море, 10 – пролив Лаперуза, 11–13 – Охотское море, 14 – пролив Буссоль, 15–24 – северо-западная часть Тихого океана, 15 – Сангарский пролив

ния связан только с концентрацией бенз(а) пирена - 0,61 ($p=0,001$). Плотность тепловых электростанций не связана с концентрацией индивидуальных ПАУ, так и с суммой ПАУ.

Результаты расчетов показали, что сжигание угля, травы и природные пожары являются основными источниками ПАУ в поверхностных водах и аэрозолях. Лесные пожары объяснили более 75% вариаций бенз(а)пирена (BaP) в морской воде в июне-июле 2012 года. Сильная корреляция между активными пожарами и концентрациями ПАУ во взвешенном веществе морских вод может быть объяснена тем, что на поверхности морской воды накапливаются выпадающие из атмосферы твердые частицы.

Данная работа выполнена по теме 124022100077-0 и в рамках проекта «Расчет полей течений, переноса и трансформации загрязняющих веществ и экологических угроз в Дальневосточном реги-

оне России» по программе Президиума РАН «Фундаментальные проблемы математического моделирования».

Литература

1. Kawanaka Y., Matsumoto E., Sakamoto K., Wang N., Yun S.J. Size distributions of mutagenic compounds and mutagenicity in atmospheric particulate matter collected with a low-pressure cascade impactor // *Atmos. Environ.* 2004. V. 38(14). P. 2125-2132. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.021>.
2. Pashin Yu.V., Bakhitova L.M. Mutagenic and carcinogenic properties of polycyclic aromatic hydrocarbons // *Environ. Health Perspect.* 1979. V. 30. P. 185-189.
3. Hayakawa K., Tang N., Nagato E. G., Toriba A., & Aoki K. Identification of Long-Range Transported Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Snow at Mt. Tateyama, Japan // *Aerosol and Air Quality Research.* 2019. V. 19(6). P. 1252-1258. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.05.0153>.
4. Hayakawa K., Tang N., Nagato E., Toriba A., Lin J-M., Zhao L., Zhou Z., Qing W., Yang X., Mishukov V., Neroda, A., Chung, H.Y. Long-term trends in urban atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons and nitropolycyclic aromatic hydrocarbons: China, Russia, and Korea from 1999 to 2014 // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020. V. 17 (2). P. 431. DOI: 10.3390/ijerph17020431.