

DOI:10.17308/978-5-9273-3693-7-2023-271-273

**РОЛЬ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ЗАГРЯЗНЕНИИ ЛАНДШАФТОВ
В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА НОВЫЙ УРЕНГОЙ****THE ROLE OF ROAD TRANSPORT IN LANDSCAPE POLLUTION
IN THE SURROUNDINGS OF NOVYY URENGOY****Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Лисенков С.А.**

Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Lisenkov S.A.

e-mail: m.opkunova@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Аннотация. Дана оценка воздействия автомобильного транспорта на химический состав почв в г. Новый Уренгой и двух участков автомобильной трассы Сургут – Новый Уренгой – Салехард на территории нефтегазовых месторождений севера Западной Сибири. Проведен анализ содержания металлов (Na, K, Ca, Al, Cu, Zn, Fe, Pb, Sr, Sc, Cd, Ni, Co, Cr, V, Ba и Mn), нефтяных углеводородов и полициклических ароматических углеводородов в почвах. Показано, что распространение загрязняющих веществ в торфяниках определяется высокой буферной способностью органогенного слоя и прослеживается на расстоянии до 100 м от автомобильной трассы, радиальная миграция поллютантов в почвенном профиле невелика и не превышает 25-50 см. Индикаторами антропогенного загрязнения служат повышенные концентрации нефтяных углеводородов, бенз(а)пирена, Zn, Pb и Cd, соотношение бенз(а)пирен/бенз(г,х,и)перил >0.6 в поверхностных горизонтах почв, а также увеличение концентрации Cd, Pb, Zn, Ni, Fe и уменьшение количества Mn в индикаторных видах растений – корке лиственницы *Larix sibirica*, надземной биомассе багульника *Ledum decumbens* и в лишайнике *Cladonia stellaris*.

Abstract. An assessment of the road transport impact on the chemical composition of soils in the city Novy Urengoy and two sections of the Surgut - Novy Urengoy - Salekhard highway on the territory of oil and gas fields in the north of Western Siberia is given. The content of metals (Na, K, Ca, Al, Cu, Zn, Fe, Pb, Sr, Sc, Cd, Ni, Co, Cr, V, Ba, and Mn), petroleum hydrocarbons, and polycyclic aromatic hydrocarbons in soils was analyzed. It is shown that the distribution of pollutants in peatlands is determined by the high buffering capacity of the organogenic layer and can be traced at a distance of up to 100 m from the highway, the radial migration of pollutants in the soil profile is small and does not exceed 25-50 cm. Indicators of anthropogenic pollution are high concentrations of petroleum hydrocarbons, benzo(a)pyrene, Zn, Pb and Cd in the surface soil horizons, as well as an increase in the concentration of Pb, Zn, Fe and a decrease in the amount of Mn in the indicator plant species - larch bark *Larix sibirica*, aboveground biomass wild rosemary *Ledum decumbens* and in the lichen *Cladonia stellaris*.

Ключевые слова: ландшафты тундры и лесотундры, почвы, растения, загрязнение, тяжелые металлы, нефтяные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, радиальная и латеральная миграция

Keywords: tundra and forest-tundra landscapes, soils, plants, pollution, heavy metals, petroleum hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons, radial and lateral migration

В последние годы большое внимание уделяется экологическому состоянию ландшафтов северных регионов. Разведка и освоение месторождений нефти, газа и твердых полезных ископаемых в Арктике сопровождаются нарушением и загрязнением компонентов ландшафтов и вовлечением в активный биологический круговорот дополнительного количества химических элементов. При этом, в экологическом мониторинге и контроле негативного влияния на компоненты ландшафтов, прежде всего, осуществляется оценка воздействия объектов инфраструктуры промыслов – площадных и линейных объектов в составе промышленных предприятий. Однако известно, что основной вклад в загрязнение окружающей среды в городах и промышленных центрах в настоящее время вносят транспортные потоки, на долю которых приходится до 70% от общего объема выбросов, поступающих в атмосферный воздух. Вместе с тем, в арктических районах влиянию автотранспорта уделяется недостаточное внимание. Этому вопросу посвящено настоящее исследование, которое было проведено в августе 2022 г. в г. Новый Уренгой и его окрестностях.

На территории города Новый Уренгой, Ево-Яхинского и Юбилейного нефтегазоконденсатных месторождений организована сеть станций мониторинга (СМ), состоящая из 19 пробных площадок и двух профилей, проходящих перпендикулярно от автомобильной трассы Сургут – Новый Уренгой – Салехард к условно фоновой территории. На профилях было изучено по пять пикетов (ПК), заложенных от обочины дороги через 50 м с выходом на условный фон тундровых природно-территориальных комплексов (ПТК). На каждом ПК и СМ проведено детальное физико-географическое описание, включающее характеристику всех компонентов ландшафта, и отбор проб почв и индикаторных видов растений. Всего на химический анализ взято 60 проб почв, 17 проб лиственницы *Larix sibirica* Ledeb., 20 проб багульника *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd.ex Steud. и 17 проб лишайника *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda. Содержание химических элементов (Na, K, Ca, Al, Cu, Zn, Fe, Pb, Sr, Sc, Cd, Ni, Co, Cr, V, Ba и Mn) в почвах и растениях определялось в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе «ELAN-6100 DRC» с полным кислотным разложением проб по ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Содержание нефтяных углеводородов (НУ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах проводились в лаборатории НПО «Гайфун». Измерение массовой доли нефтепродуктов осуществлялось методами инфракрасной спектрометрии (НУ_{ИК}) и флуориметрическим методом (НУ_{ФЛ}) по стандартным аттестованным методикам. Статистический анализ,

включающий описательную статистику, корреляционный, кластерный анализы и факторный анализ методом главных компонент (ФА МГК), проведен с помощью программных продуктов STATISTICA 12.0 (StatSoft) и Microsoft Excel версии 16.22.

Как показали результаты проведенных исследований, содержание НУ в почвах характеризуется значительной вариабельностью: концентрация НУ_{ИК} изменяется в пределах от 4 до 2000 мг/кг, НУ_{ФЛ} – от 5,1 до 90 мг/кг. Сравнение с ранее установленными фоновыми значениями [4] свидетельствует о загрязнении органогенных горизонтов почв вблизи автомобильной трассы и по старым вездеходным маршрутам. В загрязненных почвах концентрация НУ_{ИК} в 2-4 раза превышает фоновые показатели, а на расстоянии до 50 м от обочины дороги превышает даже временный региональный норматив (1000 мг/кг) для почв ЯНАО. Высокая буферность торфа определяет низкую радиальную и латеральную миграцию, проявляющуюся на глубину от 25 до 50 см вниз по профилю, и на расстояние до 75-100 м от шоссе, что подтверждает ранее полученные результаты [6]. Так, например, при сильном загрязнении поверхностного слоя 0-20 см НУ_{ИК} до 2000 мг/кг концентрация их на глубине 50 см падает до 16 мг/кг. Содержание НУ_{ФЛ} увеличивается в меньшей степени, но в условиях выраженного загрязнения возрастает по сравнению с фоном в 1,5-2,5 раза. Суммарное содержание ПАУ в почвах составляет от 12 до 326 нг/г, при этом в большинстве проб преобладают низкомолекулярные (2-3-4 ядерные) полиарены. На их долю приходится от 66 до 96% от суммарного содержания ПАУ. Концентрация высокомолекулярных (5-6 ядерных) ПАУ увеличивается в пробах болотных почв с высокой степенью оттайки. Максимальные значения суммы ПАУ, превышающие фоновые показатели в 1,5-2 раза, также приурочены к поверхностным слоям торфяного горизонта, резко снижаясь вглубь почвенного профиля, что указывает на аэротехногенное поступление поллютантов. Во всех пробах преобладают петрогенные соединения (нафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, пирен, хризен, бенз(g,h,i)перилен). Наибольшая их доля отмечается в верхней части торфяного горизонта. С глубиной почвенного профиля по мере минерализации органического вещества увеличивается доля пирогенных веществ (Pyr_g – аценафтилен, антрацен, флуорантен, бенз(a)антрацен, бенз(b)флуоранте, бенз(k)флуорантен, бенз(a)пирен, дибенз(a,h)антрацен, индено(1,2,3-c,d)пирен) в сумму ПАУ, отношение Pet_g/Pyr_g снижается до 1,3-2,1. В минеральных горизонтах вклад Pet_g и Pyr_g различается несущественно, отношение между ними не превышает 1,3-1,5. Расчет индикаторных отношений, рекомендованных для идентификации основных источников загрязнения ПАУ, показал, что наиболее информативным показателем для оценки влияния автомобильного транспорта на химический состав почв тундр и лесотундр района исследований служит соотношение бенз(a)пирен/бенз(g,h,i)перилен. Значения его изменяются от 0,09 до 41,0, при том, что величина >0,6 принимается индикатором поступления полиаренов с выбросами автотранспорта. Предлагаемые в литературе индикаторные отношения бенз(a)антрацен/(бенз(a)антрацен+хризен) и антрацен/(антрацен+фенантрен) [7, 8] для оценки влияния выбросов автотранспорта на изученной территории оказались малоинформативными. В изученных пробах соотношение антрацен/(антрацен+фенантрен) были существенно ниже пороговой величины, рассматриваемой в качестве критерия при загрязнении выбросами автомобилей – <0,1. Полученные значения являются показателем преобладания петрогенных ПАУ, указывающих на доминирование природных процессов поступления полиаренов в почвы. Величина соотношения бенз(a)антрацен/(бенз(a)антрацен+хризен) > 0,35 была отмечена только в пробах из срединного (иллювиального) горизонтов и не связана с воздействием выбросов автотранспорта. Исходя из этого, два последних соотношения между веществами группы ПАУ не могут быть рекомендованы для оценки интенсивности трансформации тундровых ПТК под влиянием автотранспорта.

Сравнение макро- и микроэлементного состава почв с региональным геохимическим фоном (РГФ) севера Западной Сибири [3] показало, что содержание всех химических элементов в поверхностном слое почв вблизи антропогенных объектов увеличивается в несколько раз по сравнению с фоном. При этом химический состав срединных (иллювиальных) горизонтов вдоль шоссе практически не меняется под влиянием выбросов автотранспорта. Максимальное накопление загрязняющих веществ отмечается на территории города Новый Уренгой. Так, например, в городском грунте содержание Mn в 12 раз, Sr, Ba, Sc, V, Cr, Pb в 5-8 раз, а Cu, Zn, Ni, Co, Fe в 2,5-4 раза превышают РГФ. В почвах вне селитебной территории вдоль трассы Сургут – Новый Уренгой – Салехард содержание химических элементов заметно снижается, однако в среднем в 2-3 раза выше РГФ. Аномально высокие концентрации Pb, Cd и Zn, обнаружены в торфяном слое почв в 50 м от отсыпки автодороги на территории Ево-Яхинского месторождения. Уровень содержания Pb (269 мг/кг) в 8,5 раз превосходит ПДК (32 мг/кг), на удалении 100 м от дорожного полотна его содержание значительно снижается, но все же превышает нормативный показатель. На профиле на территории Юбилейного месторождения уровень концентрации металлов в поверхностных горизонтах почв ниже, но при этом хорошо прослеживается поверхностное загрязнение при аэротехногенном поступлении металлов.

Результаты факторного анализа методом главных компонент указывают на ведущую роль в формировании ассоциативности микроэлементного состава почв породного фактора (вес – 58,6%), влияния гранулометрического состава почвообразующих пород и процесса торфонакопления (вес – 13,9%), обусловленного неполным разложением органического вещества и низким содержанием ТМ, находящихся в составе растительных остатков, что хорошо согласуется с полученными ранее результатами [3]. Наряду с этим, в поверхностном горизонте почв выделился парагенезис химических элементов, свидетельствующий о влиянии автомобильного транспорта на химический состав почв вблизи шоссе, однако вклад его

невелик и составляет 9,5%. Ассоциация Pb-Cd-Zn в микроэлементном составе почв хорошо выражена вблизи обочины дороги, но вглубь почвенного профиля и по мере удаления от шоссе ее участие в геохимической структуре резко снижается. Максимальные значения этого фактора совпадают с аномально высокими концентрациями валового содержания этих металлов в почвах, что позволяет интерпретировать его как воздействие техногенеза на ПТК. Интересно отметить, что на Южных Курилах, где основным источником загрязнения ПТК в настоящее время является автомобильный транспорт, индикаторами антропогенной нагрузки также выступают Cd, Pb и Zn [5]. Таким образом, увеличение содержания этих металлов в поверхностном горизонте почв в условиях интенсивного воздействия автомобильного транспорта является стабильным показателем загрязнения и может быть использовано для оценки степени трансформации химического состава ПТК.

Кластерный анализ показал, что, несмотря на выраженное загрязнение почв вблизи автодороги, при формировании химического состава компонентов ландшафта доминируют природные процессы. Об этом свидетельствует, прежде всего, тот факт, что объединение проб при кластеризации отразило степень оторфованности и минерализации субстрата, а не изменение их химического состава под влиянием техногенного воздействия. Содержание химических элементов в индикаторных видах растений *Larix sibirica*, *Ledum decumbens* и *Cladonia stellaris* изменяется в широких пределах и зависит, как от систематической принадлежности видов, так и от химизма окружающей среды. Наиболее стабильным химическим составом отличается багульник *Ledum decumbens*. Также как и в поверхностном горизонте почв, наибольшей контрастностью характеризуются содержания в его надземной биомассе Sr, Ba, Sc, V, Mn, Cr и Pb. Превышение максимальных над минимальными значениями составляет 5-8 раз, Mn – до 12 раз. Меньшая дисперсия характерна для концентрации Cu, Zn, Ni, Co и Fe, превышающей РГФ растений в 2,5-4 раза. Аэротехногенное загрязнение фиксируется увеличением концентрации Pb, Fe, Zn и резким снижением накопления Mn, что хорошо согласуется с известным антагонизмом в накоплении этих металлов растениями [1, 2]. В наибольшей степени такие изменения наблюдаются в химическом составе багульника при комплексном и многокомпонентном загрязнении компонентов ПТК на территории города и вблизи полигонов ТКО. Химический состав лишайников наиболее четко индицирует поступление загрязняющих веществ в ПТК с выбросами автомобильного транспорта. Наиболее показательно в этом отношении увеличение в 3-4 раза концентрации Cd, Ni, Cu, Zn и Pb по сравнению с фоновыми значениями. Распространение загрязняющих веществ от полотна автомобильных дорог отражается в изменении химического состава *Cladonia stellaris* на расстоянии до 50–100 м. В корке лишайницы, обладающей безбарьерным типом аккумуляции, уровень содержания большинства химических элементов в 5–10 раз превышает их содержание в *Ledum decumbens* и *Cladonia stellaris*. Под влиянием автотранспорта наблюдается активное накопление Pb, Zn, Cd, Ni и Fe. На территории города отмечается увеличение концентрации всех изученных химических элементов. Однако низкие обилие и встречаемость лишайниц в составе тундровых и лесотундровых фитоценозов не позволяют использовать этот индикатор в качестве основного при мониторинге загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что загрязнение компонентов ПТК вдоль трассы в Сургут – Новый Уренгой – Салехард носит локальный характер и прослеживается на расстоянии до 50–100 м от дорожного полотна. Латеральная и радиальная миграции химических элементов в ПТК выражены слабо, что обусловлено высоким депонирующим эффектом торфяных отложений. Индикаторами современного техногенного загрязнения ПТК от выбросов автомобильного транспорта являются увеличение концентрации НУ, бенз(а)пирена, Zn, Pb и Cd, соотношение бенз(а)пирен/бенз(g,h,i)перилена >0.6 в поверхностных горизонтах почв, а также накопление Cd, Pb, Zn, Ni, Fe и уменьшение количества Mn в индикаторных видах растений – корке лишайницы *Larix sibirica*, надземной биомассе багульника *Ledum decumbens* и в лишайнике *Cladonia stellaris*.

Литература

1. Алексеева-Попова, Н.В., Дроздова, И.В. Микроэлементный состав растений Полярного Урала в контрастных геохимических условиях. Экология, 2013, № 2, с. 90-98.
2. Кабата-Пендиас, А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. 1989, М.: Мир. 439 с.
3. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири. Почвоведение. 2019. № 4. С. 422-439. DOI: 10.1134/S0032180X19020114
4. Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С.Ю., Лисенков С.А., Власов С.В., Сомов В.В. Загрязнение почв севера Западной Сибири нефтяными и полициклическими ароматическими углеводородами: распределение и оценка экологического риска / Почвоведение, 2022а, № 11, С. 1442–1460. DOI: 10.1134/S1064229322110102
5. Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Сомов В.В., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю., Лисенков С.А., Никулина А.Р. Природные и антропогенные факторы формирования химического состава почв о. Шикотан (Курильские Острова) / Почвоведение, 2022б, № 12, с. 1592–1609. DOI: 10.31857/S0032180X22100343
6. Opekunov A., Opekunova M., Kukushkin S., Lisenkov S. Impact of drilling waste pollution on land cover in a high subarctic forest-tundra zone. Pedosphere. 2022. T. 32. № 3. С. 414-425. DOI: 10.1016/S1002-0160(21)60083-8
7. Yunker M.B, Macdonald R.W, Vingarzan R., Mitchell R., Goyette D., Selvestre S. PAHs in the Fraser River Basin: a Critical Appraisal of PAH Ratios as Indicators of PAH Source and Composition. Organic Geochemistry. 2002. V. 33. P. 489–515.
8. Wang C., Wu S., Zhou S., Wang H., Li B., Chen H., Yu Y., Shi Y. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from urban to rural areas in Nanjing: concentration, source, spatial distribution, and potential human health risk // Sci. Total Environ. 2015. V. 527. P. 375–383. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.025>.