

П. Б. Кадычагов (к.х.н., н.с.)^а, В. С. Овсянникова (к.х.н., с.н.с.)^б

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И МИКРОФЛОРЫ В ПОЧВАХ ВОКРУГ ТОМСКОГО НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Институт химии нефти Сибирского отделения Российской Академии наук,
^а лаборатория природных превращений нефти, ^б лаборатория коллоидной химии нефти
634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 4; e-mail: varja@ipc.tsc.ru

P. B. Kadychagov, V. S. Ovsyannikova

STUDY OF THE COMPOSITION OF ORGANIC COMPOUNDS AND MICROFLORA OF SOILS AROUND THE TOMSK PETROCHEMICAL PLANT

*Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
4, Prospekt Akademicheskij Str., 634055, Tomsk, Russia; e mail: varja@ipc.tsc.ru*

Исследование состава органических компонентов и структуры микрофлоры в образцах почвы в непосредственной близости от предприятия «Томскнефтехим» показало, что суммарное содержание экстрагируемого метанолом и хлороформом вещества в верхнем слое варьирует в пределах 14–30 мг/кг почвы. На долю *n*-алканов приходится 7–20 %, в основном природного происхождения (высшие растения). Об антропогенном влиянии свидетельствует повышенное в 18–70 раз по сравнению с фоном содержание нефтяных гопанов и стеранов, в 3–9 раз – полиароматических углеводородов, пирогенного происхождения (преобладание тетра- и пентациклических ПАУ над более легкими) углеводородов в исследуемых почвах, превышение ПДК в половине проб по бенз[а]пирену. В структуре почвенной микрофлоры присутствуют все группы, осуществляющие основные ступени разложения органического вещества: аммонификаторы (7–240 млн/г), амилалитические микроорганизмы, использующие органическое вещество без азота (8–45 млн/г), педотрофы (5–15 млн/г), олигокарбофилы и олигонитрофилы (20–300 млн/г). Концентрации углеводородов в почвах около предприятия «Томскнефтехим», несмотря на превышение ПДК по отдельным компонентам, не оказывают токсического воздействия на почвенную микрофлору: высокая численность и достаточное разнообразие микрофлоры говорят о способности этих почв к самовосстановлению при попадании в них более высоких концентраций углеводородов.

Ключевые слова: *n*-алканы, ароматические углеводороды; кислородсодержащие органические соединения; почва, почвенная микрофлора, хромато-масс-спектрометрия; эколого-трофические коэффициенты.

Дата поступления 10.11.22

The study of the composition of soil organic components and the structure of microflora in soil samples in the immediate vicinity of the Tomsk Petrochemical Plant («Tomskneftekhim» enterprise) shows that the total content of methanol and chloroform extractable matter in the upper layer varies from 14 to 30 mg/kg of soil. The share of *n*-alkanes accounts for 7–20 % of the content of organic matter, which is mainly of natural origin (higher plants). Anthropogenic influence is evidenced by the content of petroleum hopanes and steranes which is an 18–70 times higher compared to the background matter content. An estimated 3 to 9 times higher content of polyaromatic hydrocarbons (PAHs), a pyrogenic origin of soil pollutants (the predominance of tetra- and pentacyclic PAHs over lighter ones), and excess of MAC of benzo[*a*]pyrene in a half of the samples also testify to the man-induced impact. The structure of soil microflora includes all the main groups of microorganisms which carry out the organic matter decomposition at different stages. These are the following decomposers: ammonifiers (7–240 million/g), microorganisms that use organic matter without nitrogen (8–45 million/g), pedotrophs (5–15 million/g), oligocarbophils and oligonitrophils (20–300 ppm). The concentrations of hydrocarbons in soil sampled in the near vicinity of the «Tomskneftekhim» enterprise, although they exceed the MAC for some components, do not have a toxic effect on soil microflora. The high abundance and enough variety of microflora suggest a good restoration potential of these soils in the event of their pollution with hydrocarbons in higher concentrations.

Key words: *n*-alkanes, aromatic hydrocarbons; ecotrophic coefficients; gas chromatography-mass spectrometry; oxygen-containing organic compounds; soil; soil microflora.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 121031500046-7).

Нефтепереработка – важная отрасль российской промышленности. Опасными факторами на нефтеперерабатывающих предприятиях являются высокие уровни давления и температуры, агрессивность и токсичность многих реагентов и продуктов синтеза, что может приводить к авариям со значительными экологическими последствиями¹. Кроме того, даже современные системы экологической безопасности не могут гарантировать полной изоляции производства от окружающей среды: возможны выбросы нефтяных компонентов в атмосферу, вынос их с территории предприятия с ливневыми водами, утечками при транспортировке готовой продукции. Выпадающие с атмосферными осадками и аэрозолями поллютанты накапливаются в почве, которая долгое время сохраняет следы всех негативных влияний, меняющие ее физико-механические, химические и биологические показатели². Поэтому отслеживание уровня загрязнения прилегающей к предприятию территории является актуальной задачей. Одним из биологических показателей, а также основой самовосстановления является состояние микрофлоры, которая реагирует на любые воздействия изменением количественного и качественного состава, а также структуры микробного сообщества – соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов³.

В связи с этим, целью данной работы было определение состава нефтезагрязняющих компонентов и оценка численности и соотношения основных эколого-трофических групп микроорганизмов в почвенном покрове вокруг нефтеперерабатывающего предприятия под Томском.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был взят Томский нефтехимический комбинат (ТНХК, «Томскнефтехим») – одно из крупнейших нефтеперерабатывающих предприятий Томской области, открытый в 1980 г., в настоящее время входящий в состав компании СИБУР. Основная продукция предприятия – полимеры: полипропилен базовых и пищевых марок, полиэтилен низкой плотности пленочного и литьевого назначения, композиции полиэтилена кабельного назначения⁴.

«Томскнефтехим» расположен в 12 км к северу от г. Томска и в 6 км к востоку от г. Северск.

The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (NIOKTR 121031500046-7).

Преобладающим направлением ветра в Томском районе является юго-западное, что препятствует попаданию воздушных выбросов от предприятия в эти города^{5–7}.

Для выявления влияния ТНХК на экологическое состояние почвы были проанализированы образцы, отобранные с пяти точек в 1 км к северу от предприятия в качестве фона и по углам территории в 200–300 м от забора с северо-западной стороны (1), с юго-западной (2), с юго-восточной (3) и северо-восточной (4). Пробы почвы отбирали в конце вегетационного периода (октябрь) с глубины 0–10, 10–20 и 20–30 см.

В образцах с глубины 0–10 см анализировали содержание углеводов (УВ), во всех образцах – влажность и зольность почвы, содержание гумуса, рН и катионно-анионный состав водной вытяжки, содержание микрофлоры основных групп, формирующих почвенное плодородие.

Органическое вещество (ОВ) из проб почвы экстрагировали парами 7%-ного раствора метанола в хлороформе. Компонентный состав исследовали методом хроматомасс-спектрометрии на приборе 6890N/5973 фирмы «Agilent» с использованием дейтероаценафтена C₁₂D₁₀ в качестве внутреннего стандарта. Анализ проводили с помощью электронной ионизации при энергии электронов 70 эВ и температуре камеры 250 °С. Режим хроматографического разделения: изотерма 80 °С в течение 2 мин, затем нагрев со скоростью 3 °С/мин до 280 °С и изотерма на 25 мин. Температура инжектора 250 °С. Хроматографическая колонка капиллярная DB-5MS (30×0.25×0.25). Газ-носитель – гелий. Полученные данные обрабатывали с помощью программы *ChemStation*.

Влажность почвенных образцов определяли по ГОСТ 28268-89. Эти значения использовали для последующего пересчета содержания микрофлоры в образцах с разной влажностью на 1 г сухой почвы.

Зольность почв определяли гравиметрически после прокаливания в муфельной печи в течение 6 ч при 600 °С.

Содержание гумуса в почвах определяли по методу Тюрина⁸.

Для определения рН и катионно-анионного состава готовили водную вытяжку из почвы в соотношения 1:25⁹. рН определяли на иономере И-60 МИ со стеклянным электродом.

Содержание анионов и катионов определяли методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-105»^{10, 11}.

Численность трофических групп почвенной микрофлоры, осуществляющих разные стадии разложения органического вещества, определяли посевом на плотные среды: на мясопептонный агар (МПА) для учета аммонификаторов, использующих в качестве источника углерода и азота свежее органическое вещество (белки); на крахмало-амиачный агар (КАА) для учета группы микроорганизмов, разлагающих углеводы и усваивающих минеральный азот¹². Численность педотрофной микрофлоры, разлагающей гуминовые кислоты, определяли на почвенном агаре (ПА). Группу олигокарбофилов и олигонитрофилов, способную выживать при крайне низких концентрациях биогенных элементов, учитывали на голодном агаре (ГА)¹³. Для оценки особенностей почвообразующих процессов и экологического состояния почв рассчитывали трофические коэффициенты – соотношения численностей групп на указанных средах. Коэффициент минерализации – это отношение численностей КАА/МПА, коэффициент олиготрофности – ГА/МПА, коэффициент педотрофности – ПА/МПА¹⁴.

Результаты и их обсуждение

В составе органических соединений, выделенных из проб почв, были идентифицированы *n*-алканы и нафтеносодержащие органические соединения, представленные карбоновыми кислотами, метиловыми, этиловыми, пропиловыми эфирами карбоновых кислот, альдегидами и кетонами, а также нефтяные гопаны и стераны, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) (табл. 1).

Максимальные суммарные содержания анализируемых органических веществ (ОВ) было определено в точках 1 и 3 на северо-западе и юго-во-

стоке от комбината (табл. 1). Доля *n*-алканов в пробах составляла 7–20 % от всех определяемых ОВ, причем нечетные гомологи преобладали над четными ($CPI = 3.2–3.4$), доминировали C_{27} , C_{29} и C_{31} с максимумом на C_{29} , что говорит об их нетехногенном происхождении (высшие растения)¹⁵. Исключение составила проба с фоновой точки, где разница между четными и нечетными гомологами велика и основной вклад в содержание пришелся на «горб» на кривой распределения в области $C_{21}–C_{27}$. Такое распределение характерно для старых деградированных загрязнений нефтепродуктами (рис. 1а).

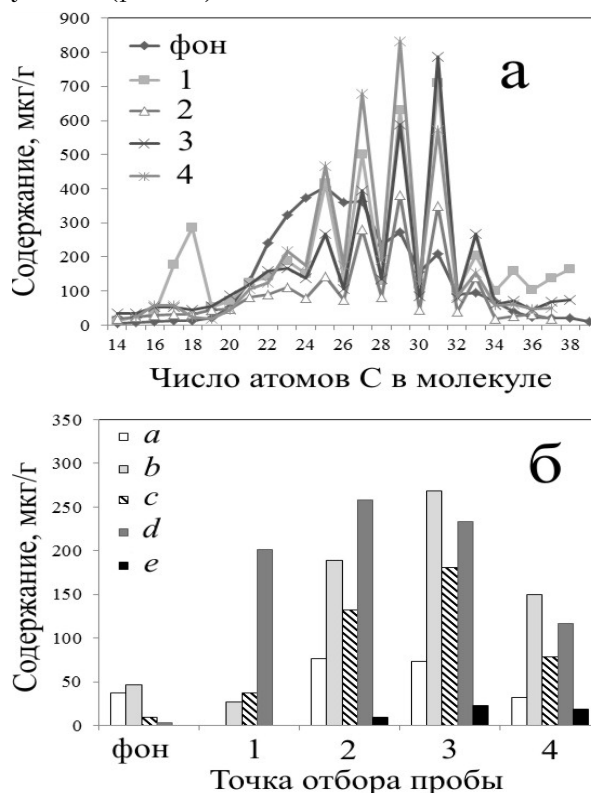


Рис. 1. Молекулярно-массовое распределение *n*-алканов (а) и содержание ПАУ разных классов (б) в почвах вокруг комбината «Томскнефтехим»: а – бициклические; б – трициклические; с – тетрациклические; d – пентациклические; e – гексациклические

Таблица 1

Состав органических компонентов в почвах вокруг комбината «Томскнефтехим»

Класс веществ	Содержание (мг/кг) в образцах из точек:				
	фон	1	2	3	4
<i>n</i> -Алканы	3.56	4.88	2.21	3.97	4.85
Нафтеносодержащие УВ	0.14	0.23	0.17	0.75	0.20
Нефтяные гопаны	0.06	4.19	1.55	1.44	1.29
Стераны	0.18	3.27	1.91	1.09	0.78
Полиароматические УВ	0.09	0.27	0.67	0.78	0.39
Карбоновые кислоты	1.87	1.88	1.12	2.55	1.03
Метиловые эфиры карбоновых кислот	1.96	2.14	1.78	3.33	1.43
Этиловые эфиры карбоновых кислот	3.83	4.02	2.90	5.87	2.46
Пропиловые эфиры карбоновых кислот	5.79	6.16	0.0	0.0	0.0
Кетоны	0.20	0.59	0.43	0.69	0.50
Альдегиды	0.29	2.34	1.68	2.69	1.35
Суммарное содержание ОВ	18.0	30.0	14.4	23.2	14.3
CPI – индекс нечетности <i>n</i> -алканов	1.2	3.3	3.2	3.3	3.4

Значимые отличия между фоном и остальными точками отбора выявлены для нефтяных гопанов и стеранов, содержание которых превышало фоновые значения в 20–70 и 4–18 раз соответственно.

Более подробно стоит остановиться на рассмотрении ПАУ, как бесспорно техногенной составляющей органического загрязнения почвы. На рис. 16 представлена диаграмма группового состава ПАУ в пробах почв, отобранных вокруг территории «Томскнефтехим». Несмотря на наличие деградированного загрязнения, суммарно меньше всего ПАУ в фоновой пробе. Из проб, отобранных вокруг комбината, меньше всего ПАУ в пробе из точки 1 (северо-западный угол комбината), к тому же, в этой единственной пробе не обнаружены бициклические ПАУ. Это вполне объяснимо, т.к. по розе ветров юго-восточное направление является минорным. Наибольшее содержание этих соединений приходится на точку 3 (юго-восточная). Вблизи этой точки находится не только «Томскнефтехим», но и тепловая станция ТЭЦ-3, продукты сгорания топлива которой тоже вносят определенный вклад.

Спектр полициклоароматических УВ (ПАУ) представлен широким рядом классов – от би- до

гексациклических (рис. 16). Преобладание тетра- и пентациклических ПАУ над более легкими свидетельствовало о пирогенном происхождении загрязнения исследуемых почв, возможно, вследствие сжигания легких отходов производства в факеле на самом ТНХК и близкого расположения тепловой станции ТЭЦ-3. Содержание бенз[а]пирена превышало ПДК в половине проб почвы.

В гомологических рядах кислородсодержащих соединений в образцах почв преобладают пальмитиновая и стеариновая кислоты, а также их эфиры в своих классах. Присутствующие в образцах альдегиды и кетоны распределены более равномерно. Больше всего суммарно кислородсодержащих соединений в образцах почв отобранных на северо-западе и юго-востоке предприятия (точки 1, 3).

Физико-химические анализы почвенных образцов показали, что содержание несгораемого остатка (зольность) варьировало в пределах от 92 до 97,5 %, как правило, возрастая вниз по профилю (рис. 2а). Лишь в точке 1, на юго-запад от комбината, нижний горизонт (20–30 см) содержал больше органического вещества, чем средний (10–20 см) (рис. 3а), что свидетельствует о его выносе из вышележащего горизонта при переувлажнении и осажде-

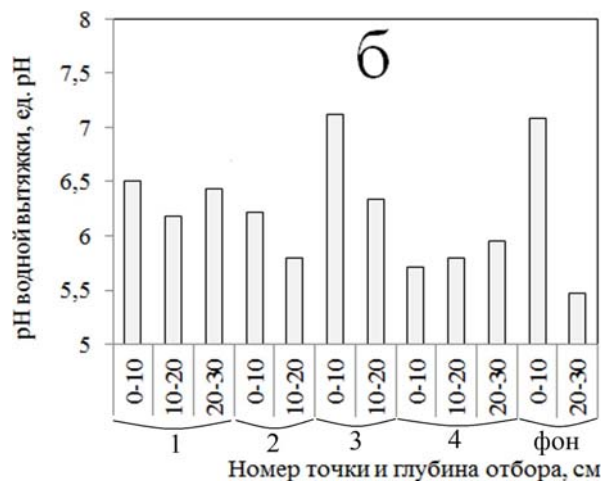
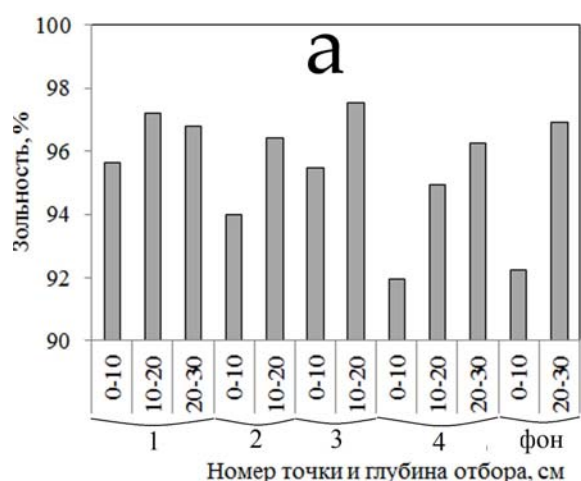


Рис. 2. Зольность образцов почв (а) и pH водной вытяжки (б) из почв в вокруг комбината «Томскнефтехим»

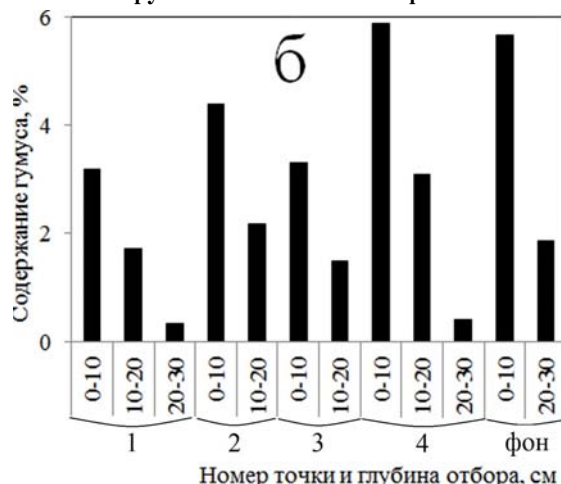
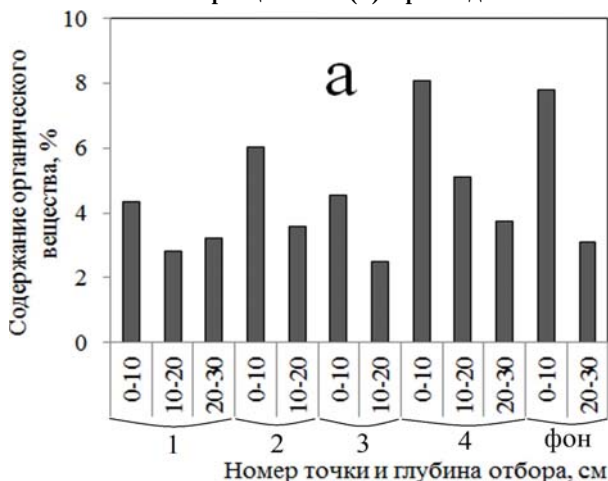


Рис. 3. Содержание органического вещества (а) и гумуса (б) в почвах вокруг комбината «Томскнефтехим»

нии в более глубоких слоях. Также вниз по профилю снижалось содержание гумуса (рис. 3 б) и pH водной вытяжки (рис. 26). Содержание гумуса в верхних слоях варьировало от 3 до 5.8 % в разных точках отбора, что нормально для дерново-подзолистых почв, характерных для юга Томской области.

В катионно-анионном составе водных вытяжек из проб почв присутствовали ионы аммония, калия, натрия, магния, кальция, хлориды и сульфаты (табл. 2). Нитрат-ион обнаружен в верхних горизонтах на всех точках отбора, но не определялся глубже 10 см в фоновой и юго-западной точках (3). Почвенные профили в разных местах отбора отличались как по содержанию компонентов, так и по характеру их распределения (убыванию или нарастанию концентрации вглубь по профилю). В целом, почвы во всех точках содержали достаточное для роста растений и питания почвенной микрофлоры количество минеральных компонентов.

Анализ почвенной микрофлоры показал достаточно высокое содержание всех исследуемых групп. Максимальной численностью (до 10–295 млн клеток/г) характеризовались в основном верхние слои, за исключением точки 4, где повышенное количество аммонификаторов и бактерий на КАА было отмечено глубже (рис. 4).

Значения эколого-трофических коэффициентов свидетельствовали о более активном разложении полисахаридов, чем белков (коэффициент минерализации выше единицы). Коэффициент минерализации ниже 1 в трех пробах мог быть следствием поступления свежего растительного опада в почву. Также на КАА было отмечено максимальное разнообразие видов микрофлоры: многочисленные пигментированные бактерии, актиномицеты, вегетативные формы, в отличие от МПА, где микрофлора была представлена 4-5 видами, с преобладанием почвенных бацилл. Судя по количественному и качественному составу

Таблица 2

Катионно-анионный состав водных вытяжек почв вокруг ТНХК

Точка отбора	Глубина, см	Содержание компонента, мг/кг почвы							
		NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
фон	0–10	4.5	25	16	26	101	23	45	288
	20–30	3.4	7	36	19	68	35	35	0
1	0–10	6.0	81	42	30	114	37	31	28
	10–20	4.3	25	32	19	71	38	96	10
	20–30	4.0	12	36	15	49	43	93	22
2	0–10	11.6	33	53	29	114	49	83	19
	10–20	16.9	32	106	25	101	84	123	17
3	0–10	3.4	53	65	35	115	36	76	13
	10–20	4.1	13	33	16	57	22	26	0
4	0–10	8.9	15	30	28	103	45	103	5
	10–20	9.9	11	26	17	68	16	50	5
	20–30	5.3	10	30	15	53	18	37	3

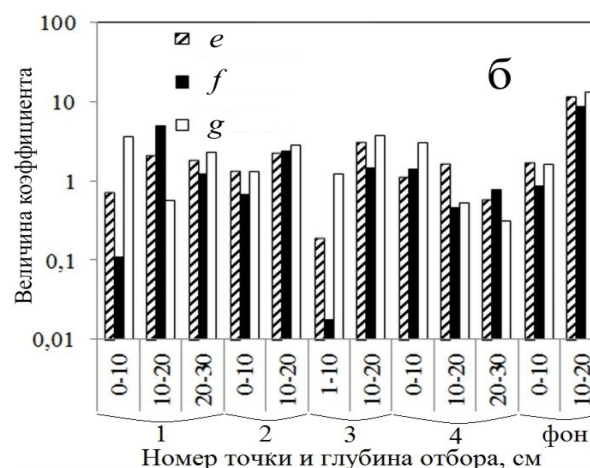
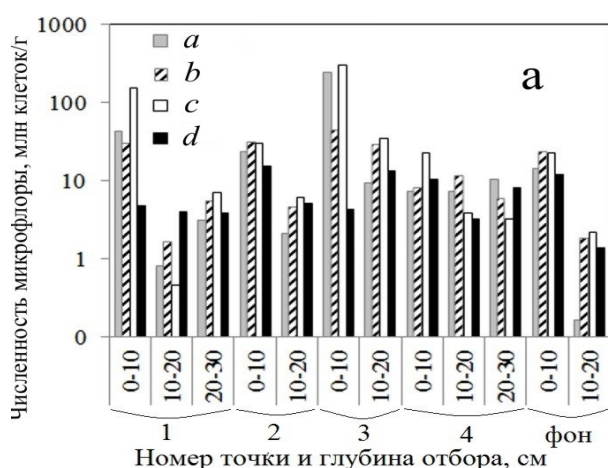


Рис. 4. Численность почвенной микрофлоры (а) и эколого-трофические коэффициенты (б) в почвах вокруг комбината «Томскнефтехим»: а – аммонификаторы; б – микроорганизмы, использующие минеральный азот; с – педотрофы; d – олиготрофы; e – коэффициент минерализации; f – коэффициент педотрофности; g – коэффициент олиготрофности

микрофлоры, признаки угнетения антропогенным воздействием отсутствовали: высокая численность микрофлоры, разнообразие форм, отсутствие явного доминирования 1-2 видов, низкое содержание плесневых грибов.

Это, а также присутствие минерального и органического питания, свидетельствуют о хорошем потенциале микрофлоры к восстановлению в случае повреждающих воздействий.

Таким образом, УВ загрязнение почвы за счет производственной деятельности предприятия «Томскнефтехим» не превышает самоочищающей способности почвенной микрофлоры: микро-

флора характеризуется достаточно высоким разнообразием и численностью, наличием групп, осуществляющих все основные ступени разложения органического вещества.

Особенности углеводородного загрязнения – преобладание тетрациклических и пентациклических ПАУ над более легкими – свидетельствует о значительном вкладе веществ пирогенного происхождения. Источниками этих веществ могут служить как факел сжигания легких отходов производства на самом ТНХК, так и тепловая станция ТЭЦ-3 в непосредственной близости на востоке от предприятия и комплекс строй индустрии на юге.

Литература

1. Шахова Т.С., Язиков Е.Г., Таловская А.В. Химические элементы в почвах и почвогрунтах в окрестностях нефтеперерабатывающих заводов (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар) // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2018. – Т.24, №4. – С.67-75.
2. Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р. Оценка воздействия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности на эколого-гигиеническое состояние окружающей среды и здоровье населения // Медицина труда и экология человека. – 2018. – №4. – С.12-26.
3. Горовцов А.В. Показатели структуры микробиоценоза почв г. Ростова-на-Дону как инструмент мониторинга состояния антропогенно-преобразованных почв // Научный журнал КубГАУ. – №89. – 2013. – С.303-315.
4. Сибур. Томскнефтехим. История. Доступно по адресу: <https://www.sibur.ru/TomskNeftehim/about/history/> (обращение 07.11.2022).
5. Трифонова Л.И., Изнаирская И.А., Курыгина Л.И. Климат Томска. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 217 с.
6. Кижнер Л.И., Серая Н.Ю. Изменение режима ветра в Томске в начале XXI века // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2015. – №576. – С.102-113.
7. Архив погоды в Томске. Доступно по адресу: <https://world-weather.ru/archive/russia/tomsk/> (обращение 07.11.2022).
8. Некрасова О.А. Методы анализа органического вещества почв. – Екатеринбург: Уральский государственный университет, 2008. – 107 с.
9. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1995. – 264 с.
10. Методика выполнения измерения массовой концентрации катионов цезия, калия, натрия, лития, магния, кальция, стронция и бария в пробах природных, питьевых и сточных вод и катионов аммония в пробах сточных вод с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель» М 01-31-99. – СПб.: ООО «Люмэкс», 1999. – 34 с.
11. Методика выполнения измерения массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природной, питьевой и сточной вод

References

1. Shakhova T.S., Yazikov E.G., Talovskaya A.V. *Khimicheskiye elementy v pochvakh i pochvogruntyakh v okrestnostyakh neftepererabatyvayushchikh zavodov (na primere gg. Omsk, Achinsk, Pavlodar)* [Chemical elements in soils and soils in the vicinity of oil refineries (on the example of the cities of Omsk, Achinsk, Pavlodar)]. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Transbaikal State University], 2018, vol.24, no.4, pp.67-75.
2. Baktybaeva Z.B., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Rakhmatullin N.R. *Otsenka vozdeystviya neftepererabatyvayushhey i neftekhimicheskoy promyshlennosti na ekologo-gigienicheskoe sostoyanie ob'ektov okruzhayushhey sredy i zdorov'e naseleniya* [Assessment of the impact of the oil refining and petrochemical industries on the ecological and hygienic state of environmental objects and public health]. *Meditzina truda i ekologiya cheloveka* [Occupational medicine and human ecology], 2018, no.4, pp.12-26.
3. Gorovtsov A.V. *Pokazateli struktury mikrobiotsenoza pochv g. Rostova-na-Donu kak instrument monitoringa sostoyaniya antropogenno-preobrazovannykh pochv* [Indicators of the structure of microbiocenosis of soils in the city of Rostov-on-Don as a tool for monitoring the state of anthropogenically transformed soils]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of KubSAU], 2013, no.89, pp.303-315.
4. *Sibur. Tomskneftekhim. Istoriya* [Sibur. Tomskneftekhim. History of the company]. Available at <https://www.sibur.ru/TomskNeftehim/about/history/> (accessed 07.11.2022).
5. Trifonova L.I., Iznairstskaya I.A., Kurygina L.I. *Klimat Tomsk* [Climate of Tomsk]. Leningrad, Gidrometeizdat Publ., 1982, 217 p.
6. Kizhner L.I., Seraya N.Yu. *Izmenenie rezhima vetra v Tomske v nachale XXI veka* [Changes in the wind regime in Tomsk at the beginning of the 21st century]. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A. I. Voeikova* [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikova], 2015, no.576, pp.102-113.
7. *Arkhiv pogody v Tomske* [Weather archive in Tomsk]. Available at: <https://world-weather.ru/archive/russia/tomsk/> (accessed 07.11.2022).
8. Nekrasova O.A. *Metody analiza organicheskogo veshchestva pochv. Rukovodstvo k laboratornym zaniatiyam* [Methods for the analysis of soil organic

- с применением системы капиллярного электрофореза «Капель» ПНД Ф 14.1:2:4.157-99.– М.: Госкомитет по охране окружающей среды, 1999.– 34 с.
12. Терещенко Н.Н., Акимова Е.Е., Минаева О.М. Современные методы оценки микробиологических свойств и экологического статуса почвы.– Томск: Издательский дом ТГУ, 2017.– 152 с.
 13. Методы почвенной микробиологии и биохимии. / Под.ред Д.Г. Звягинцева.– М.: Изд-во МГУ, 1991.– 304 с.
 14. Stakhurlova L.D., Svistovab I.D., Shcheglova D.I., Biological activity as an indicator of chernozem fertility in different biocenoses // *Eurasian Soil Science*.– 2007.– V.40, №6.– Pp.694-699.
 15. Зайнулгабидинов Э.Р., Игнатьев Ю.А., Петров А.М., Хабибуллин Р.Э. Особенности распределения нормальных алканов в современных дерново-подзолистых почвах // *Вестник технологического университета*.– 2015.– Т.18, №4.– С.271-274.
 9. Rastvorova O.G., Andreev D.P., Gagarina E.I., Kasatkina G.A., Fedorova N.N. *Khimicheskii analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 1995, 264 p.
 10. *Metodika vypolneniya izmereniya massovoy kontsentratsii kationov tseziya, kaliya, natriya, litiya, magniya, kal'tsiya, strontsiya i bariya v probakh prirodnykh, pityevykh i stochnykh vod i kationov ammoniya v probakh stochnykh vod s ispol'zovaniem sistemy kapillyarnogo elektroforeza «Kapel» M 01-31-99* [Method for measuring the mass concentration of cesium, potassium, sodium, lithium, magnesium, calcium, strontium and barium cations in samples of natural, drinking and waste water and ammonium cations in waste water samples using the Kapel capillary electrophoresis system M 01-31-99]. SPb., LLC «Lumeks» Publ., 1999, 34 p.
 11. *Metodika vypolneniya izmereniya massovykh kontsentratsii khlorid-ionov, nitrit-ionov, sul'fat-ionov, nitrat-ionov, ftorid-ionov i fosfat-ionov v probakh prirodnoy, pit'evoy i stochnoy vod s primeneniem sistemy kapillyarnogo elektroforeza «Kapel» PND F 14.1:2:4.157-99* [Method for measuring the mass concentrations of chloride ions, nitrite ions, sulfate ions, nitrate ions, fluoride ions and phosphate ions in samples of natural, drinking and waste water using the Kapel capillary electrophoresis system PND F 14.1: 2: 4.157-99]. Moscow: Gosudarstvennyi komitet po okhrane okruzhaiushchei sredy Publ., 1999, 34 p.
 12. Tereshchenko N.N., Akimova E.E., Minaeva O.M. *Sovremennyye metody otsenki mikrobiologicheskikh svoystv i ekologicheskogo statusa pochvy* [Modern methods for assessing soil microbiological properties and ecological status. Handbook]. Tomsk: Publishing House of TSU, 2017, 152 p.
 13. *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Ed. by D.G. Zviagintsev. Moscow, MSU Publ., 1991, 304 p.
 14. Stakhurlova L.D., Svistovab I.D., Shcheglova D.I. [Biological activity as an indicator of chernozem fertility in different biocenoses]. *Eurasian Soil Science*, 2007, vol.40, no.6, pp.694-699.
 15. Zainulgabidinov E.R., Ignat'ev Yu.A., Petrov A.M., Khabibullin R.E. *Osobennosti raspredeleniya normal'nykh alkanov v sovremennykh derново-podzolistykh pochvakh* [Peculiarities of distribution of normal alkanes in modern soddy-podzolic soils]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2015, vol.18, no.4, pp.271-274.